

Pemanfaatan Data Citra Satelit Sentinel-2 untuk Estimasi Kandungan Nitrogen Pada Tanaman Jagung (Studi Kasus : Desa Jadi, Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban)

The Use of Sentinel-2 Satellite Imagery for Nitrogen Content Estimation of Corn Crop (Case Study : Jadi Village, Semanding District, Tuban Regency)

Rahajeng Aulia Azmi¹, Lalu Muhamad Jaelani^{1*}, dan Lena Sumargana²

¹Departemen Teknik Geomatika, FTSPK-ITS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional, Gedung B.J. Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8, Jakarta Pusat 10340, Indonesia

*Korespondensi penulis: lmjaelani@its.ac.id

Diterima: 28072024; Diperbaiki: 16122024; Disetujui: 16122024; Dipublikasi: 16122024

Abstrak: Jagung (*Zea mays L.*) adalah tanaman semusim dengan beberapa varietas, termasuk NK 6172 (Perkasa), NK 212 (Wirosableng), dan NK 7328 (Sumo). Identifikasi varietas jagung dilakukan menggunakan metode *Linear Spectral Unmixing* yang menghasilkan peta sebaran varietas, dimana NK 6172 (Perkasa) mendominasi dengan 80,97%, diikuti oleh NK 7328 (Sumo) dengan 15,15%, dan NK 212 (Wirosableng) dengan 3,48%. Untuk mengidentifikasi fase pertumbuhan jagung ditentukan menggunakan citra MODIS dan algoritma NDVI serta NDWI. Pada penelitian ini lahan jagung diklasifikasikan dengan metode *Support Vector Machine* dan menghasilkan nilai *overall accuracy* sebesar 89,29% dan nilai *kappa* sebesar 86,42%. Nitrogen (N) adalah salah satu nutrisi penting untuk pertumbuhan jagung. Salah satu metode untuk memperkirakan kandungan nitrogen dapat melalui penginderaan jauh yaitu dengan melakukan pengolahan spektrum cahaya yang dipantulkan oleh daun. Dilakukan dengan citra satelit Sentinel-2 serta menggunakan indeks vegetasi OSAVI, GNDVI, dan SRRE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga indeks ini memiliki korelasi positif dengan kandungan nitrogen pada varietas NK 6172 (Perkasa). Lalu indeks SRRE memiliki koefisien determinasi tertinggi (0,3874), diikuti oleh OSAVI (0,3751) dan GNDVI (0,3537). Model estimasi kandungan nitrogen dibuat dari regresi linier antara data kandungan nitrogen berbasis SPAD dengan indeks SRRE. Lalu dihasilkan peta yang menunjukkan kandungan nitrogen, dimana kandungan nitrogen dominan pada lahan eksisting dengan rentang 2% - 2,5%.

Copyright © 2024 Geoid. All rights reserved.

Abstract: Maize (*Zea mays L.*) is an annual crop with several varieties, including NK 6172 (Perkasa), NK 212 (Wirosableng), and NK 7328 (Sumo). Identification of maize varieties was conducted using the *Linear Spectral Unmixing* method which produced a variety distribution map, where NK 6172 (Perkasa) dominates with 80.97%, followed by NK 7328 (Sumo) with 15.15%, and NK 212 (Wirosableng) with 3.48%. To identify the growth phase of corn, MODIS imagery and NDVI and NDWI algorithms were used. In this study, corn land was classified using the *Support Vector Machine* method and resulted in an overall accuracy value of 89.29% and a kappa value of 86.42%. Nitrogen (N) is one of the essential nutrients for corn growth. One method to estimate nitrogen content can be through remote sensing, namely by processing the light spectrum reflected by leaves. This was done with Sentinel-2 satellite imagery and using the OSAVI, GNDVI, and SRRE vegetation indices. The results showed that these three indices had a positive correlation with nitrogen content in the NK 6172 (Mighty) variety. The SRRE index had the highest coefficient of determination (0.3874), followed by OSAVI (0.3751) and GNDVI (0.3537). A nitrogen content estimation model was created from a linear regression between SPAD-based nitrogen content data and the SRRE index. A map was then produced showing the nitrogen content, with the dominant nitrogen content on the existing land ranging from 2% - 2.5%.

Kata kunci: Indeks Vegetasi, *Linear Spectral Unmixing*, Nitrogen, SPAD

Cara untuk sitasi: Azmi, R.A., Jaelani, L.M., & Sumargana, L. (2024). Estimasi Kandungan Nitrogen Pada Tanaman Jagung Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2 (Studi Kasus : Desa Jadi, Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban). *Geoid*, 19(3), 529 - 542.

Pendahuluan

Jagung (*Zea mays* L.) adalah tanaman semusim yang memiliki pola pertumbuhan yang serupa, meski interval waktu antartahap pertumbuhan dan jumlah daun dapat berbeda. Pertumbuhan jagung terbagi menjadi empat tahap: vegetatif awal, vegetatif akhir, generatif awal, dan generatif akhir (Subekti dkk., 2008). Provinsi Jawa Timur adalah penghasil jagung tertinggi pada tahun 2020, dengan Kabupaten Tuban memproduksi 774.322 ton jagung (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2021).. Meningkatnya kebutuhan jagung memerlukan peningkatan produktivitas melalui pemberian nutrisi yang memadai, terutama nitrogen (N), yang penting untuk fotosintesis dan kualitas hasil jagung

Jenis unsur hara yang sangat diperlukan pada tanaman jagung yaitu nitrogen (N). Nitrogen diperlukan sebagai bahan penyusun asam amino, protein, dan klorofil (Salisbury & Ross, 1995).. Kelebihan unsur hara nitrogen dapat meningkatkan kerusakan akibat serangan hama dan penyakit, memperpanjang umur, dan tanaman lebih mudah rebah. Sedangkan kekurangan nitrogen, tidak dapat memenuhi kebutuhan tanaman untuk mencapai tingkat produksi yang optimal (Syafuruddin, 2006). Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa jumlah nitrogen yang diberikan sesuai dengan kebutuhan tanaman jagung. Pada umumnya dosis pupuk jagung menggunakan NPK Phonska 400 kg/ha, Urea 270 kg/ha, dan SP-36 80 kg/ha (Siti dan Sakina, 2022).

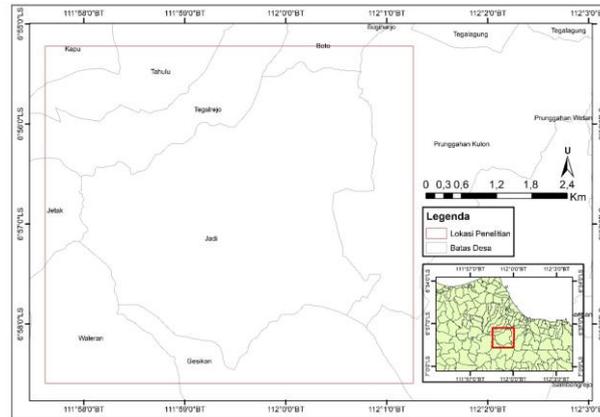
Pada proses pengukuran kandungan nitrogen pada tanaman, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan yaitu metode Kjeldahl dan penggunaan *Soil Plant Analysis Development Meter* (SPAD). Metode Kjeldahl merupakan metode yang sederhana untuk penetapan nitrogen total pada asam amino, protein dan senyawa yang mengandung nitrogen. Sedangkan metode penggunaan alat *Soil Plant Analysis Development Meter* (SPAD) berkorelasi dengan konsentrasi N daun (*Leaf Nitrogen Content* (LNC), misalnya massa N daun per massa daun) dan dapat digunakan untuk mengevaluasi status N tanah dan tanaman, memperkirakan kebutuhan N tanaman, memprediksi hasil panen, dan memperkirakan kematangan tanaman (Yamamoto dkk., 2002).

Selain dua metode sebelumnya, dalam melakukan pengukuran kandungan nitrogen dapat menggunakan teknologi penginderaan jauh yaitu menggunakan citra satelit. Metode ini dapat dilakukan estimasi komponen biokimia pada daun tanaman dengan teknik analisis spektral (Lie dkk., 2014). Sejumlah indeks vegetasi telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa diantaranya yaitu terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh (Sharifi, 2020) menggunakan 8 indeks spektral untuk mengestimasi kandungan nitrogen pada jagung (Shafiri, 2020). Diperoleh hasil bahwa SRRE (*Simple Ratio Red-Edge*) merupakan indeks vegetasi terbaik karena memiliki nilai R^2 sebesar 0,91. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Rivani, 2023) di Ngawi, yaitu menggunakan metode *Linear Spectral Unmixing* untuk melakukan identifikasi varietas jagung dan memperoleh nilai RMSE dengan rentang 0,019– 0,042 dan nilai rata-rata sebesar 0,031 atau $\pm 3,1\%$.

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi varietas jagung dengan metode *Linear Spectral Unmixing* serta estimasi kandungan nitrogen pada tanaman jagung dengan studi kasus di lahan eksisting tanaman jagung Desa Jadi, Kecamatan Semanding, Kabupaten Tuban menggunakan data citra satelit Sentinel-2 dengan menggunakan indeks vegetasi yaitu OSAVI, GNDVI, dan SRRE Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung pertanian presisi sebagai upaya untuk meningkatkan produksi jagung.

Data dan Metode

Lokasi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terletak di koordinat $6^{\circ} 55' 12''$ - $6^{\circ} 58' 35''$ LS dan $111^{\circ} 57' 36''$ - $112^{\circ} 01' 16''$ BT, meliputi keseluruhan Desa Jadi, sebagian Desa Kapu, Tahulu, Tegalrejo, Jetak, Waleran, Gesikan, Bektiharjo, Prunggahan Kulon, dan Bulu. Luas area penelitian ini adalah sebesar 4.169,047 Ha.



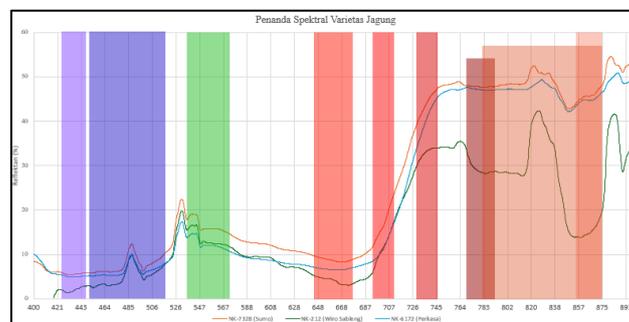
Gambar 1. Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, digunakan data citra satelit Sentinel-2 level-2A untuk proses *Linear Spectral Unmixing* dan perhitungan kandungan nitrogen pada tanaman jagung. Citra direkam pada 2 Februari 2024 untuk LSU dan pada 8 Maret 2024 untuk estimasi nitrogen. Data citra satelit MODIS MCD43A4 dengan rentang waktu perekaman dari Januari 2020 hingga Desember 2023 digunakan untuk menentukan pola fase tanam jagung. Area studi dibatasi menggunakan data vektor lahan eksisting tanaman jagung yang dihasilkan melalui metode *Support Vector Machine*, serta data *endmember* varietas jagung NK-6172 (Perkasa), NK-212 (Wirosableng), dan NK-7328 (Sumo). Data konversi pembacaan SPAD digunakan untuk estimasi kandungan nitrogen jagung di lapangan.

Metode penelitian ini meliputi pengambilan data *geotagging* lapangan untuk menentukan batas wilayah lahan eksisting tanaman jagung menggunakan metode *Support Vector Machine*. Selanjutnya, pembuatan kalender tanam menggunakan citra MODIS dan 6 titik sampel lapangan. Pengolahan *Linear Spectral Unmixing* dilakukan untuk memperoleh citra masing-masing varietas jagung dan perhitungan RMSe. Perhitungan kandungan nitrogen dilakukan menggunakan indeks vegetasi dan data konversi pembacaan SPAD dari lapangan dengan menggunakan persamaan pada penelitian Abdelaziz Rhezali dan Abdellah El Aissaoui (2021). Analisis statistik yang diterapkan meliputi regresi linier sederhana, analisis korelasi Pearson, uji T dua arah, dan perhitungan RMSe. Model estimasi terbaik dipilih berdasarkan R^2 tertinggi dan RMSe terendah dari ketiga indeks vegetasi, yang kemudian digunakan untuk membuat peta estimasi kandungan nitrogen.

Hasil dan Pembahasan

1. Pembuatan Pustaka Spektral



Gambar 2. Penanda Spektral Tiap Varietas Jagung

Data spektral jagung yang digunakan pada penelitian ini merupakan data spektral pada penelitian sebelumnya yang diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan *spectrometer* di Desa Rejuno dan Sumber Bening Kabupaten Ngawi pada 3-4 Februari 2023. Pada penelitian ini *endmember* yang digunakan menyesuaikan

dengan varietas yang terdapat di lapangan serta data hasil perekaman *spectrometer* yang dimiliki, yaitu NK-6172 (Perkasa), NK-7328 (Sumo), dan NK-212 (Wirosableng).

Pada gambar grafik di atas terlihat bahwa nilai spectral varietas jagung NK-6172 (Perkasa) disimbolkan dengan warna biru, varietas NK-212 (Sableng) disimbolkan dengan warna hijau, dan untuk varietas NK-7328 Sumo disimbolkan dengan warna oren. Nilai reflektans pada setiap varietas tersebut dilakukan perhitungan rata-rata dengan menyesuaikan panjang gelombang satelit Sentinel-2.

Tabel 1. Nilai Spektral Varietas Jagung Pada Kanal Sentinel-2

Kanal	Reflektans NK-6172 (Perkasa)	Reflektans NK-212 (Wirosableng)	Reflektans NK-7328 (Sumo)
B1	0,050698	0,024760	0,057091
B2	0,067161	0,056325	0,081767
B3	0,117591	0,126319	0,156417
B4	0,006955	0,038097	0,086901
B5	0,138259	0,140385	0,195863
B6	0,424902	0,335199	0,453713
B7	0,470325	0,287258	0,477347
B8	0,468935	0,280410	0,486718
B8A	0,449504	0,155253	0,459390

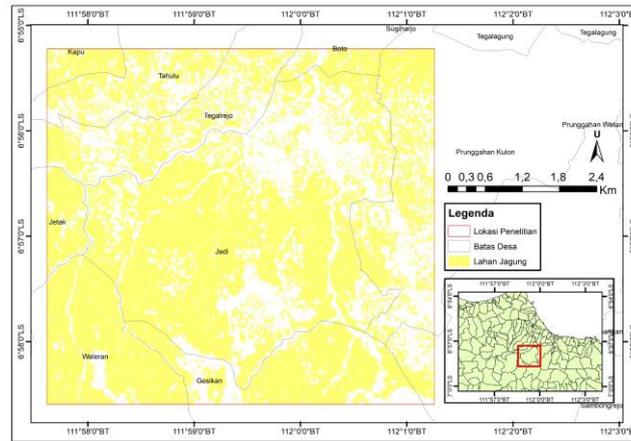
2. Penentuan Lahan Eksisting Tanaman Jagung

Kondisi lapangan saat pengambilan data lapangan terdapat tumpang tindih lahan dengan jenis tanaman lain. Untuk menghindari tumpang tindih jenis penggunaan lahan tersebut, maka dilakukan klasifikasi lahan dengan menggunakan *Support Vector Machine*. Data yang digunakan pada klasifikasi lahan baku tanaman jagung diantaranya yaitu lahan jagung, hutan, permukiman, sungai, dan area tambang. Data-data ini berupa *point* berdasarkan intepretasi citra dan data hasil rekaman koordinat GPS *Handheld* yang dilakukan saat pengambilan data lapangan pada tanggal 6-8 Maret 2024. Sebanyak 70% untuk data *training* dan 30% untuk data *testing*.

Tabel 2. Jenis Lahan dan Luas Area

Jenis Lahan	Luas (Ha)
Lahan Eksisting Tanaman Jagung	2819,27
Hutan	458,74
Permukiman	205,89
Sungai	618,5
Area Tambang	81,4

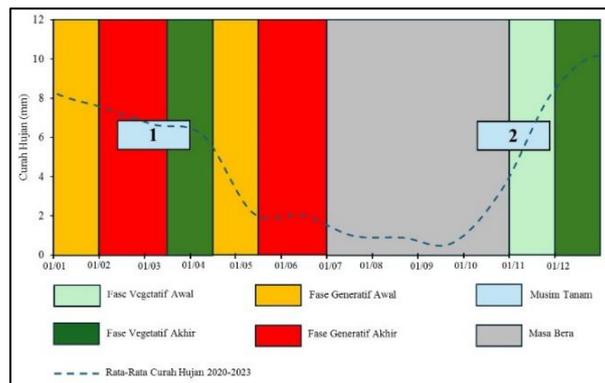
Citra satelit Sentinel-2 dengan perekaman waktu citra yaitu tahun 2020 hingga 2023 pada *platform* Google Earth Engine digunakan pada proses ini. Jumlah keseluruhan adalah 200 titik. Diperoleh nilai *overall accuracy* sebesar 89,29% dengan nilai *kappa* 86,42%. Dimana, nilai *overall accuracy* diatas 85% dan memiliki nilai *Kappa Accuracy* diatas 81% yang termasuk kedalam kategori peluang akurasi sangat baik berdasarkan klasifikasi nilai koefisien kappa (Cohen, 1960). Luas lahan jagung yang dihasilkan sebesar 2.819,27 Ha.



Gambar 3. Lahan Eksisting Tanaman Jagung

3. Identifikasi Fase Tanaman Jagung

Dilakukan penentuan fase pertumbuhan tanaman jagung menggunakan citra satelit MODIS-MCD43A4 dengan resolusi spasial 500 meter dan resolusi temporal 1 hingga 2 hari. Data dari Januari 2020 hingga Desember 2023 digunakan dengan nilai (threshold) indeks spektral NDVI dan NDWI dari masing-masing varietas. Grafik *time series* dibuat untuk 6 titik sampel untuk mendapatkan nilai ekstraksi indeksnya.



Gambar 4. Kalender Pertumbuhan Tanaman Jagung

Berdasarkan Gambar 4., fase pertumbuhan tanaman jagung terjadi dua kali dalam setahun, dengan setiap fase disimbolkan oleh warna berbeda: biru muda untuk musim tanam, hijau muda untuk fase vegetatif awal, hijau tua untuk fase vegetatif akhir, kuning untuk fase generatif awal, merah untuk fase generatif akhir, dan abu-abu untuk masa bera. Garis putus-putus menunjukkan rata-rata curah hujan dari tahun 2020 hingga 2023.

4. Validasi Fenologi Tanaman Jagung

Tabel 3. Tampilan Google Street View dan Kondisi Lapangan

				
Fase	Bera	Generatif Awal	Panen	Generatif Akhir
Waktu	September 2021	Januari 2024	Juni 2023	Maret 2024

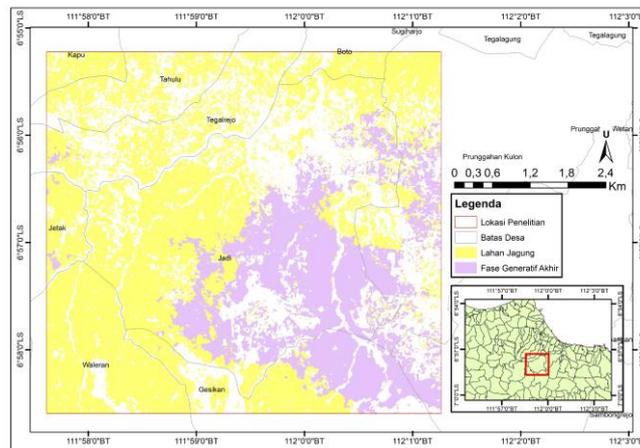
Hasil fenologi dan pernyataan petani menunjukkan bahwa musim tanam jagung dilakukan dua kali setahun: pada musim penghujan (Oktober-November) dengan panen pada Maret berikutnya, dan pada musim peralihan

(Februari-Maret) dengan panen sekitar Juni. Berdasarkan data *google street view* beberapa titik sampel, dapat dilakukan validasi terhadap fase tanaman jagung yaitu pada Tabel 3.

Perbedaan waktu tanam oleh petani menyebabkan variasi waktu panen dan umur tanaman jagung di setiap lahan. Oleh karena itu, diperlukan pemisahan antara lahan tanaman jagung fase generatif akhir dan non generatif akhir. Berdasarkan Gambar 4, fase generatif akhir tanaman jagung di lokasi penelitian diidentifikasi, dengan rata-rata nilai indeks spektral sebesar 0,5 untuk NDVI dan -0,46 untuk NDWI.

Tabel 4. *Threshold* Citra Sentinel-2 Fase Generatif Akhir

Tanggal	Ambang		Fase
	NDVI	NDWI	
12 Juni 2020	0,6170	-0,5670	
14 Maret 2021	0,5205	-0,4810	
27 Juni 2021	0,4015	-0,4245	
24 Maret 2022	0,4220	-0,3640	Generatif Akhir
22 Juni 2022	0,5335	-0,5410	
14 Maret 2023	0,4690	-0,3660	
28 Mei 2023	0,4940	-0,5320	



Gambar 5. Lahan Eksisting Tanaman Jagung Generatif Akhir

Berdasarkan Gambar 5. terlihat bahwa daerah yang berwarna ungu merupakan daerah lahan eksisting tanaman jagung fase generatif akhir. Untuk besaran luasan lahannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Luas Lahan Eksisting Tanaman Jagung Pada Fase Generatif Akhir dan Non-Generatif Akhir

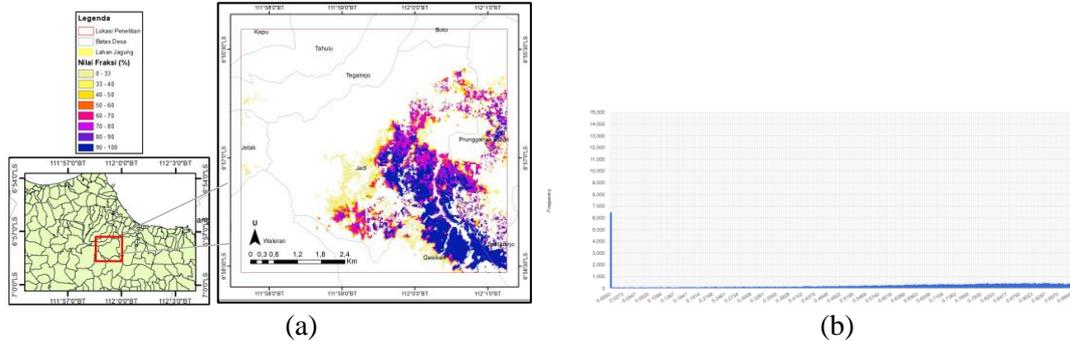
Fase Jagung	Luas (Ha)
Non Generatif Akhir	1898,58
Generatif Akhir	920,69

5. Identifikasi Varietas Jagung

Pengolahan *Linear Spectral Unmixing* yang dilakukan menggunakan citra satelit Sentinel-2 dengan tanggal perekaman 2 Februari 2024 termasuk ke dalam fase generatif akhir. Tanggal citra yang digunakan tidak sama dengan tanggal saat pengambilan data disebabkan citra Sentinel-2 pada tanggal 6-8 Maret 2024 saat pengambilan data tidak cukup baik untuk dilakukan pengolahan *Linear Spectral Unmixing*. Untuk

mengklasifikasi citra menggunakan metode *Linear Spectral Unmixing* diperlukan data *endmember* (spektral reflektan murni dari objek) yang akan diamati. Hasil dari algoritma *Linear Spectral Unmixing* mencerminkan proporsi dari nilai fraksi dalam satu piksel. Ini menghasilkan peta yang menunjukkan fraksi dari setiap variasi, menggambarkan keberadaan setiap variasi dalam rentang 0 hingga 1 atau 0% hingga 100%. Ketika persentase suatu objek dalam lahan atau piksel meningkat, nilai fraksinya cenderung mendekati 1, sebaliknya nilai fraksi yang lebih rendah menunjukkan keberadaan objek yang lebih rendah (Klein & Isacks, 1999).

a) *Sebaran Varietas NK-6172 (Perkasa)*



Gambar 6. (a) Peta Fraksi Varietas NK-6172 (Perkasa), (b) Histogram Fraksi Varietas NK-6172 (Perkasa)

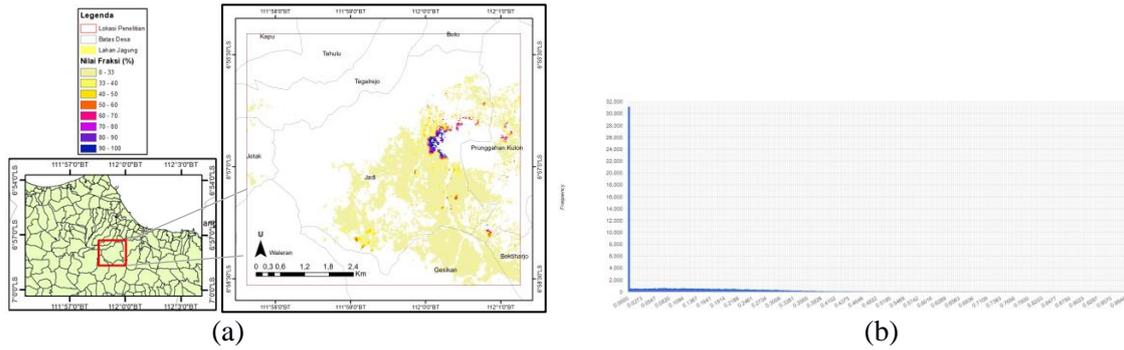
Berdasarkan Gambar 6. merupakan hasil statistik nilai fraksi *endmember* NK-6172 (Perkasa) dalam bentuk histogram. Pada histogram tersebut menunjukkan bahwa nilai fraksi memiliki nilai persentase objek yang rendah dan tinggi dalam suatu piksel campuran atau suatu lahan. Nilai fraksi *endmember* varietas ini berada pada rentang 0 hingga 1. Dapat dilihat bahwa peta fraksi varietas NK-6172 (Perkasa) terlihat berwarna biru tua, ungu tua, ungu muda, pink, oren, dan kuning. Dimana, warna biru tua dengan nilai 90,00% – 100,00% mendominasi dibandingkan dengan warna lainnya.

Tabel 6. Persentase Fraksi dan Luas Area Varietas NK-6172 (Perkasa)

Fraksi (%)	Luas (Ha)
0,00 – 33,33	156,805
33,33 – 40,00	26,880
40,00 – 50,00	49,491
50,00 – 60,00	66,267
60,00 – 70,00	88,014
70,00 – 80,00	102,242
80,00 – 90,00	114,402
90,00 – 100,00	266,339

b) *Sebaran Varietas NK-212 (Wirosableng)*

Berdasarkan Gambar 7 merupakan hasil statistik nilai fraksi *endmember* NK-212 (Wirosableng) dalam bentuk histogram. Pada histogram tersebut menunjukkan bahwa nilai fraksi memiliki nilai persentase objek yang rendah dan tinggi dalam suatu piksel campuran atau suatu lahan. Nilai fraksi *endmember* varietas ini berada pada rentang 0 hingga 1. Dapat dilihat bahwa peta fraksi varietas NK-212 (Wirosableng) terlihat berwarna biru tua, ungu tua, ungu muda, pink, oren, dan kuning. Dimana, warna kuning muda dengan nilai 0 hingga 33% mendominasi dibandingkan dengan warna lainnya.

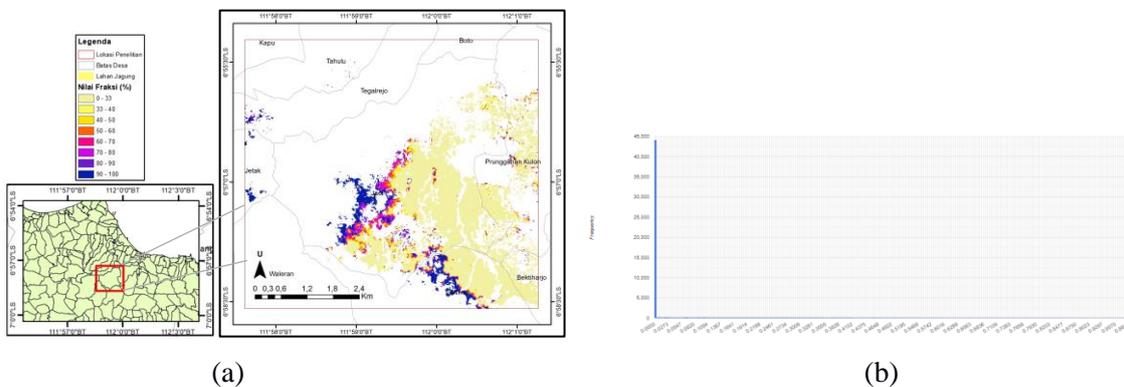


Gambar 7. (a) Peta Fraksi Varietas NK-212 (Wirosableng), (b) Histogram Fraksi Varietas NK-212 (Wirosableng)

Tabel 7. Persentase Fraksi dan Luas Area Varietas NK-212 (Wirosableng)

Fraksi (%)	Luas (Ha)
0,00 – 33,33	797,480
33,33 – 40,00	33,487
40,00 – 50,00	21,009
50,00 – 60,00	7,720
60,00 – 70,00	4,593
70,00 – 80,00	3,202
80,00 – 90,00	3,167
90,00 – 100,00	5,709

c) *Sebaran Varietas NK-7328 (Sumo)*



Gambar 8. (a) Peta Fraksi Varietas NK-7328 (Sumo), (b) Histogram Fraksi Varietas NK-7328 (Sumo)

Berdasarkan Gambar 8 merupakan hasil statistik nilai fraksi *endmember* NK-7328 (Sumo) dalam bentuk histogram. Pada histogram tersebut menunjukkan bahwa nilai fraksi memiliki nilai persentase objek yang rendah dan tinggi dalam suatu piksel campuran atau suatu lahan. Nilai fraksi *endmember* varietas ini berada pada rentang 0 hingga 1. Dapat dilihat bahwa peta fraksi varietas NK-7328 (Sumo) terlihat berwarna biru tua, ungu tua, ungu muda, pink, oren, dan kuning. Dimana, warna kuning muda dengan nilai 0 hingga 33% mendominasi dibandingkan dengan warna lainnya.

Tabel 8. Persentase Fraksi dan Luas Area Varietas NK-7328 (Sumo)

Fraksi (%)	Luas (Ha)
0,00 – 33,33	651,740
33,33 – 40,00	27,107
40,00 – 50,00	33,954
50,00 – 60,00	28,529
60,00 – 70,00	21,761
70,00 – 80,00	21,194
80,00 – 90,00	17,182
90,00 – 100,00	73,908

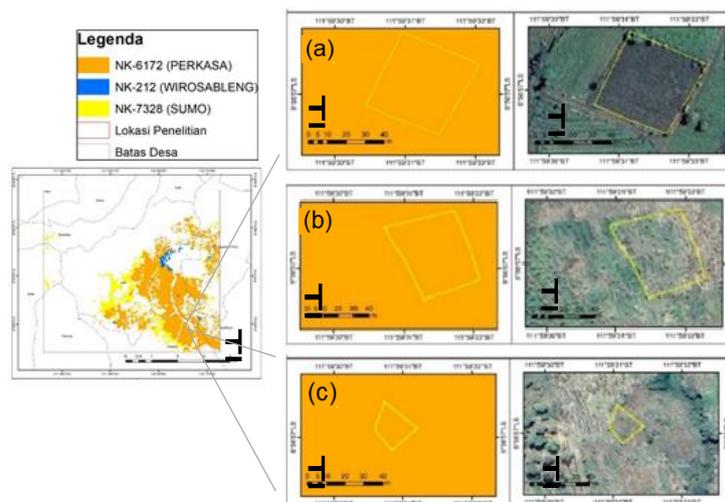
d) Sebaran Varietas Dominan

Nilai ambang batas yang digunakan untuk membedakan keberadaan varietas dominan pada citra fraksi adalah sebesar $> 33,33\%$. Apabila terdapat dua fraksi bernilai $> 33,33\%$ maka fraksi yang bernilai lebih besar dianggap sebagai fraksi dominan. Dimana untuk nilai rentang varietas NK-6172 (Perkasa) sebesar $0,335681 - 1$, sedangkan varietas NK-212 (Sableng) yaitu $0,335356 - 1$, dan untuk varietas NK-7328 (Sumo) sebesar $0,338078 - 1$. Nilai tersebut digunakan dengan anggapan bahwa total fraksi di dalam satu piksel yang terdiri dari tiga varietas yaitu bernilai 1 atau 100% karena menggunakan *fully constrain Linear Spectral Unmixing*. Sehingga, apabila nilai fraksi lebih dari 0,33 atau 33,33% dan merupakan fraksi tertinggi maka dianggap sebagai fraksi dominan. Luas area pada tiap varietas dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 9. Luas Area Tiap Varietas Dominan

Varietas	Luas (Ha)	Persentase (%)
NK-6172 (Perkasa)	745,51	80,97
NK-212 (Sableng)	32,01	15,15
NK-7328 (Sumo)	143,17	3,48
Lahan Eksisting Tanaman Jagung Fase Generatif Akhir	920,69	100,00

6. Validasi dan Perhitungan Akurasi Hasil Pengolahan *Linear Spectral Unmixing*



Gambar 9. Validasi Hasil Pengolahan Dengan Data Lapangan (a) NK-6172 (Perkasa), (b) NK-212 (Sableng), (c) NK-7328 (Sumo)

Berdasarkan hasil *Linear Spectral Unmixing*, terdapat kesesuaian antara hasil pengolahan dan data sampel lapangan untuk varietas NK-6172 (Perkasa) namun untuk kedua varietas lainnya hampir tidak menunjukkan kesesuaian yang signifikan. Untuk NK-212 (Wirosableng), ketidaksesuaian disebabkan oleh jumlah sampel lapangan yang sedikit dan banyaknya lokasi varietas yang tertutup vegetasi tinggi. Untuk NK-7328 (Sumo), perbedaan disebabkan oleh perbedaan hari setelah tanam (HST) saat pengambilan data spectrometer, di mana data spectrometer diambil pada 105-115 HST, sementara wawancara dengan petani menunjukkan NK Sumo berada pada 100 HST.



Gambar 10. Wawancara Petani Jagung di Lapangan

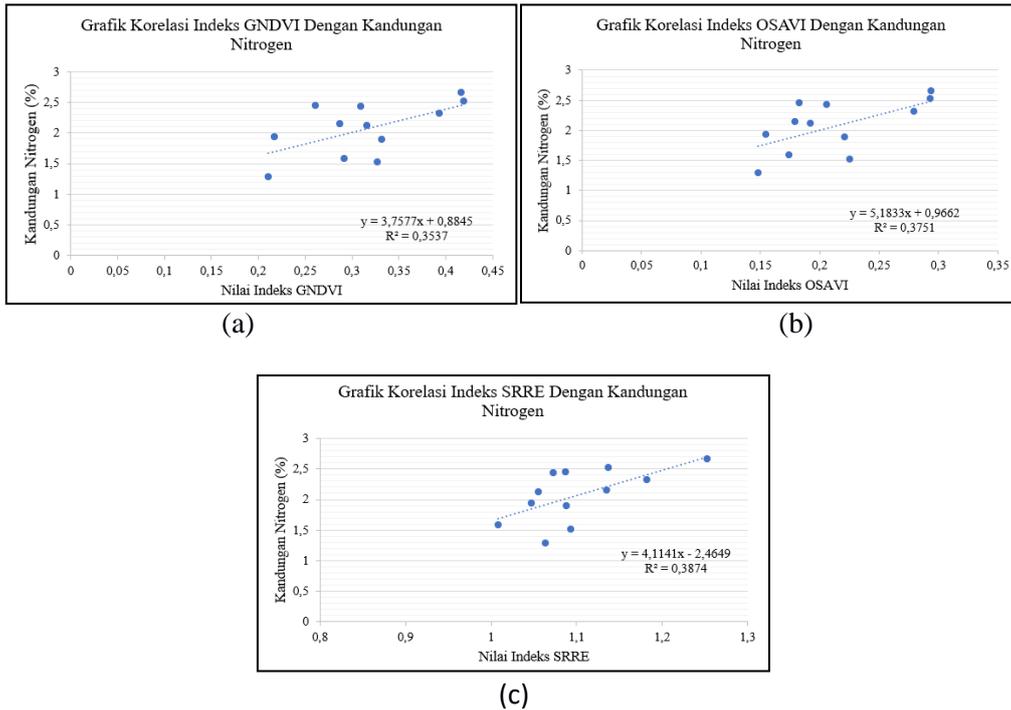
Nilai RMSE dari residual error piksel pada citra Sentinel-2 menunjukkan persentase kesalahan hasil pengolahan *Linear Spectral Unmixing* di setiap piksel. Hasil yang baik ditunjukkan oleh nilai RMSE yang rendah, mendekati 0. Berdasarkan perhitungan, RMSE yang diperoleh sebesar 0,045, menunjukkan error sekitar $\pm 4,5\%$ per piksel. Hasil ini menunjukkan akurasi yang sangat baik dalam pemisahan nilai fraksi campuran, memberikan perbedaan kesalahan yang kecil antara fraksi endmember yang diestimasi dengan endmember sebenarnya dari setiap varietas lahan eksisting tanaman jagung. Dilakukan perhitungan *confusion matrix* antara pengolahan *Linear Spectral Unmixing* dengan data validasi lapangan dan diperoleh *overall accuracy* sebesar 80% dan nilai *Kappa* sebesar 70%.

7. Analisis Hubungan Beberapa Indeks Vegetasi Terhadap Kandungan Nitrogen

Untuk membuat model persamaan estimasi kandungan nitrogen, dapat dilakukan dengan membuat analisis regresi. Data yang digunakan dalam membuat model adalah nilai indeks vegetasi hasil pengolahan citra Sentinel-2 per varietas dengan data hasil pengukuran SPAD per varietas. Namun hanya akan dilakukan pengolahan menggunakan varietas NK 6172 (Perkasa) karena berdasarkan hasil *Linear Spectral Unmixing* luas lahan varietas NK-6172 (Perkasa) mencapai lebih dari 80%. Sementara seluruh titik sampel perkasa sesuai dengan hasil *Linear Spectral Unmixing* dibandingkan dengan kedua varietas lainnya.

Hasil pengolahan citra satelit dengan menggunakan ketiga indeks vegetasi (GNDVI, OSAVI, dan SRRE) dilakukan melalui proses ekstraksi nilai (extract values) yang mengikuti posisi lokasi pembacaan SPAD di lapangan. Pembacaan SPAD, yang mengukur kandungan klorofil dan secara tidak langsung menunjukkan kandungan nitrogen, diambil di berbagai titik di lapangan. Titik-titik ini kemudian digunakan sebagai referensi untuk mengekstraksi nilai indeks vegetasi dari citra satelit pada lokasi yang sama. Namun lokasi titik sampel yang kurang menyebar sehingga nilai indeks vegetasinya berkisar pada rentang 0,15 hingga 1,3.

Dengan cara ini, setiap nilai indeks vegetasi yang diperoleh dari citra satelit sesuai dengan lokasi spesifik di mana pembacaan SPAD dilakukan. Proses ini memastikan bahwa data yang diperoleh dari citra satelit dapat dibandingkan secara langsung dengan data lapangan, memungkinkan analisis yang lebih akurat dan validasi hubungan antara indeks vegetasi dan kandungan nitrogen. Dengan mengikuti posisi lokasi pembacaan SPAD, ketiga indeks vegetasi tersebut dapat menggambarkan kondisi tanaman dengan lebih tepat, mencerminkan variasi nyata yang diamati di lapangan. Berdasarkan data perhitungan korelasi dan regresi dapat dirangkum hasilnya dalam Tabel 10.



Gambar 11. Korelasi Indeks Vegetasi dengan Kandungan Nitrogen (a) GNDVI (b) OSAVI (c) SRRE

Tabel 10. Hasil Uji Korelasi dan Regresi Aantara Indeks Vegetasi dan Kandungan Nitrogen

Varietas	Indeks (x)	Model Regresi	Koefisien Determinasi (R ²)	Koefisien Korelasi (r)	RMSE
NK-6172 (Perkasa)	GNDVI	$3,7577x + 0,8845$	0,3537	0,5947	1,472
	OSAVI	$5,1833x + 0,9662$	0,3751	0,6124	1,57
	SRRE	$4,1141x - 2,4649$	0,3874	0,6224	0,732

Hasil analisis uji korelasi menunjukkan terdapat hubungan antara ketiga indeks vegetasi (GNDVI, OSAVI, dan SRRE) dengan kandungan nitrogen hasil konversi pembacaan SPAD. Tabel yang disajikan menunjukkan model regresi untuk masing-masing indeks vegetasi yang menghubungkan indeks vegetasi (X) dengan kandungan nitrogen (Y) pada varietas NK-6172 (Perkasa). Koefisien determinasi (R²) untuk GNDVI, OSAVI, dan SRRE masing-masing adalah 0.3537, 0.3751, dan 0.3874, menunjukkan proporsi variansi yang dijelaskan oleh model. Koefisien korelasi (r) untuk ketiga indeks ini adalah 0.5947, 0.6124, dan 0.6224, menunjukkan hubungan positif linear yang kuat antara indeks vegetasi dan kandungan nitrogen (Evans, 1996). Nilai RMSE untuk GNDVI, OSAVI, dan SRRE adalah 1.472, 1.570, dan 0.732, dengan nilai lebih rendah menunjukkan prediksi yang lebih akurat. SRRE adalah indeks vegetasi paling efektif untuk memperkirakan kandungan nitrogen pada varietas NK-6172 (Perkasa) karena memiliki R² dan koefisien korelasi tertinggi serta RMSE terendah dibandingkan dengan GNDVI dan OSAVI.

Koefisien determinasi (R²) dan koefisien korelasi (r) dari masing-masing indeks vegetasi tiap varietas cenderung rendah dan cukup. Penelitian Bullock dan Andreas (2008) melaporkan korelasi buruk antara pembacaan SPAD dan kandungan nitrogen pada tanaman jagung di fase R4-R6 (generatif akhir), di mana pembacaan SPAD lebih efektif mendeteksi kekurangan nitrogen pada fase awal pertumbuhan. Selain itu, variabilitas data pembacaan SPAD di lapangan dibandingkan dengan pengamatan laboratorium juga dapat mempengaruhi hasil (Darmawan dkk., 2011).

Untuk model estimasi kandungan nitrogen tanaman jagung, dipilih indeks vegetasi dengan kinerja tertinggi, yaitu SRRE, karena memiliki nilai R² tertinggi (0,3874) dan RMSE terendah. Nilai R² sebesar 0,3874

menunjukkan bahwa 38,74% variabilitas kandungan nitrogen dapat dijelaskan oleh SRRE dengan kekuatan hubungan yang kuat (nilai korelasi 0,6224). SRRE menggunakan band Near Infra Red (NIR) yang sensitif terhadap reflektansi cahaya dari tanaman dan vegetasi, serta band red edge yang membantu dalam estimasi *Leaf Area Index* (LAI) dan kandungan klorofil. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa SRRE memiliki kinerja terbaik dalam mengestimasi kandungan nitrogen pada tanaman jagung (Sharifi, 2020; Agustina, 2023).

8. Uji T

Uji parsial merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui apakah di dalam model analisis regresi terdapat pengaruh variabel bebas (independen) secara individual terhadap variabel terikatnya (dependen). Terdapat pengaruh secara parsial jika nilai t hitung lebih besar dibandingkan dengan nilai t tabel dan nilai signifikansinya berada di bawah 0,05 (Kuncoro, 2009). Untuk hipotesisnya sebagai berikut.

H_0 : tidak terdapat hubungan antara indeks vegetasi dengan kandungan nitrogen

H_1 : terdapat hubungan antara indeks vegetasi dengan kandungan nitrogen

Kriteria pengujian:

Jika t hitung \leq t tabel maka H_0 diterima atau H_1 ditolak

Jika t hitung $>$ t tabel maka H_0 ditolak atau H_1 diterima

Tabel 11. Hasil Uji T

Varietas	Indeks (x)	Nilai T Hitung	Nilai T Tabel	P Value
NK-6172 (Perkasa)	GNDVI	2,339	2,28	0,041
	OSAVI	2,4502		0,034
	SRRE	2,514		0,03

Hasil uji T menunjukkan bahwa untuk varietas NK Perkasa dengan ketiga indeks vegetasi tersebut memiliki nilai t hitung $>$ t tabel dan nilai *P value* $<$ 0,05 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima yang menunjukkan terdapat hubungan antara ketiga indeks vegetasi dengan kandungan nitrogen yang signifikan.

9. Estimasi Kandungan Nitrogen Tanaman Jagung

Pada penelitian ini memiliki hasil akhir berupa peta estimasi kandungan nitrogen tanaman jagung di area penelitian. Dalam penelitian ini hanya bisa digunakan varietas NK Perkasa dan menggunakan indeks vegetasi SRRE. Untuk model persamaannya sebagai berikut.

$$y = 4,1141x - 2,4649 \quad (1)$$

Dimana:

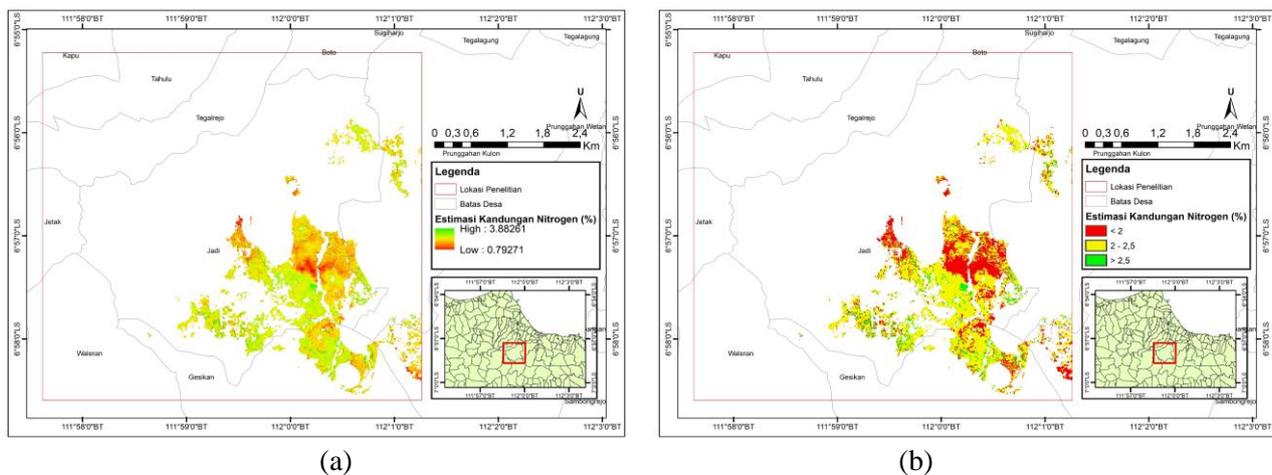
y = Kandungan nitrogen tanaman jagung hasil estimasi (%)

x = indeks vegetasi SRRE

Kandungan nitrogen residu daun jagung pada fase R4-R6 tidak disebutkan secara eksplisit dalam sumber yang disediakan. Selama tahap pertumbuhan R4 hingga R6 pada jagung, kandungan nitrogen daun biasanya menurun seiring dengan kedewasaan tanaman dan realokasi nutrisi ke biji yang sedang berkembang. Pada tahap generatif akhir (R4 – R6) kandungan nitrogen daun umumnya sekitar 2% - 2,5% (Lu dkk., 2023).

Tabel 12. Luasan Berdasarkan Klasifikasi

Rentang Nilai Nitrogen (%)	Luas (Ha)
<2	106,661
2 – 2,5	261,153
$> 2,5$	27,717



Gambar 12. (a) Peta Estimasi Kandungan Nitrogen (b) Peta Klasifikasi Kandungan Nitrogen

Kesimpulan

Pada pengolahan estimasi nitrogen tanaman jagung varietas NK-6172 (Perkasa), ketiga indeks vegetasi menunjukkan korelasi positif dengan kandungan nitrogen pada daun, dengan indeks SRRE memiliki koefisien korelasi tertinggi (0,6224), diikuti oleh OSAVI (0,6124) dan GNDVI (0,5947). Peta estimasi nitrogen dibuat menggunakan regresi linier dengan indeks SRRE yang memiliki koefisien determinasi tertinggi dan RMSE terendah. Hasil estimasi menunjukkan kandungan nitrogen pada lahan penelitian didominasi oleh rentang 2% - 2,5% dengan luas 261,153 ha, rentang <2% seluas 106,661 ha, dan rentang >2% seluas 27,717 ha.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepada Laboratorium Geospasial Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah membantu dalam memberikan fasilitas penunjang untuk pemrosesan dan pengolahan data pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bullock, D. G., & Anderson, D. S. (1998). Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition*, 21(4), 741-755. <https://doi.org/10.1080/01904169809365439>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement For Nominal Scales 1. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/001316446002000104>
- Darmawan, A., Hariyanto, T., Sukojo, B. M., & Sady, M. (2011). Prediksi Parameter-Parameter Biofisik Tanaman Padi dari Data Groundspectrometer dan Hyperspectral Pesawat Terbang dengan Menggunakan Teknik Partial Least Square Regression (PLSR) dan Normalized Difference Spectral Index (NDSI). *J. Tek. Ling.*, 12, 93–101. <https://doi.org/10.29122/jtl.v12i1.1266>
- Evans, J. D. (1996). *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*. Brooks/Cole Publishing M. Young, *The Technical Writers Handbook*. Mill Valley, CA: University Science (1989). <https://doi.org/10.4236/sn.2017.62008>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2021). Inilah 10 Provinsi Penghasil Jagung Terbanyak di Indonesia. <https://dinastph.lampungprov.go.id/detail-post/inilah-10-provinsi-penghasil-jagung-terbanyak-di-indonesia>
- Klein, A. G., & Isacks, B. L. (1999). Spectral mixture analysis of Landsat thematic mapper images applied to the detection of the transient snowline on tropical Andean glaciers. In *Global and Planetary Change (Vol. 22)*. www.elsevier.com/locate/gloplacha. C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, komunikasi pribadi, (1995, May). [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(99\)00032-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(99)00032-6)
- Kuncoro, Mudrajad. 2009. *Metode Riset Untuk Bisnis dan Ekonomi*. Jakarta: Erlangga

- Lie, F., Miao, Y., Feng, G., Yuan, F., Yue, S., Gao, X., ... & Chen, X. (2014). Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. *Field Crops Research*, 157, 111-123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.018>
- Lu, Y., Zhang, X., Cui, Y., Chao, Y., Song, G., Nie, C., & Wang, L. (2023). Response of different varieties of maize to nitrogen stress and diagnosis of leaf nitrogen using hyperspectral data. *Scientific Reports*, 13(1), 5890. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31887-z>
- Rhezali, A., & Aissaoui, A. E. (2021). Feasibility study of using absolute SPAD values for standardized evaluation of corn nitrogen status. *Nitrogen*, 2(3), 298-307. <https://doi.org/10.3390/nitrogen2030020>
- Rivani, A. P., Jaelani, L. M., & Sumargana, L. (2023). Identifikasi Varietas Jagung dari Data Citra Satelit Menggunakan Metode Linier Spectral Unmixing (Studi Kasus: Kabupaten Ngawi). *Geoid*, 19(1), 106-120. <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v19i1.18749>
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1995). Fisiologi Tumbuhan (Pnjmh: Lukman, DR dan Sumaryono). *Institut Teknologi Bandung*, Bandung
- Sharifi, A. (2020). Using Sentinel-2 Data to Predict Nitrogen Uptake in Maize Crop. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13(Vi), 2656-2662. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2998638>
- Siti, N. A., & Sakinah, R. D. S. (2022) Panduan Tepat Mengaplikasikan Pupuk Untuk Jagung Agar Buahnya Besar. <https://agri.kompas.com/read/2022/08/21/130100284/panduan-tepat-mengaplikasikan-pupuk-untuk-jagung-agar-buahnya-besar?page=all>
- Syafruddin, S. Saenong, dan Subandi. 2006. In Pemantauan kecukupan hara N berdasarkan khlorofil daun pada tanaman jagung Dalam: Proseding Seminar Nasional Jagung
- Subekti, N. A., Syafruddin, Efendi, R., & Sunarti, S. (2008). Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan. *Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros*, 16-28
- Yamamoto, A., Nakamura, T., Adu-Gyamfi, J. J., & Saigusa, M. (2002). Relationship between chlorophyll content in leaves of sorghum and pigeonpea determined by extraction method and by chlorophyll meter (SPAD-502). *Journal of Plant Nutrition*, 25(10), 2295-2301. <https://doi.org/10.1081/PLN-120014076>



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)