

MONITORING FASE PERTUMBUHAN PADI DENGAN SENTINEL-2 DAN PENGARUH FAKTOR FISIK LINGKUNGANNYA

Nur Afifah¹, Ike Sari Astuti^{1*},

¹Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia
ikesariastuti.fis@um.ac.id

[Doi.org/10.24036/geografi/volx-issx/xxx](https://doi.org/10.24036/geografi/volx-issx/xxx)

ABSTRAK

Padi merupakan makanan pokok bagi sebagian besar penduduk Indonesia. Oleh karena itu, pemantauan fase pertumbuhan padi dan fenologi padi menjadi penting. Teknologi penginderaan jauh dengan citra Sentinel-2 diterapkan untuk mendapatkan data secara cepat dalam wilayah luas di PT. Sang Hyang Seri. Penelitian ini dilakukan untuk memantau fase pertumbuhan padi menggunakan algoritma NDVI. Kedua, bertujuan untuk mengetahui pengaruh curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng terhadap nilai NDVI dan dianalisis perbedaan nilai NDVI pada perbedaan faktor fisik tersebut. Hasil penelitian menunjukkan tren nilai NDVI fase pertumbuhan padi berbentuk kurva parabolik orde-2. Umur padi umumnya berusia 110 hari. Unit lahan terbagi menjadi 3, sesuai dengan faktor fisik tersebut (OATRAL, DFTRL, DFTTL). Faktor curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng berpengaruh pada kesuburan tanaman, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap usia tanaman padi. Lamanya pembibitan berpengaruh pada usia tanam padi.

Kata kunci: fase pertumbuhan padi, NDVI, curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng

ABSTRACT

Rice is a staple food for the majority of Indonesia's population. Therefore, monitoring of rice growth phase and rice phenology is important. Remote sensing technology with Sentinel-2 imagery is applied to quickly obtain data over a large area at PT. Sang Hyang Seri. The NDVI algorithm is used to monitor plant growth and is correlated with plant age to determine the growth phase of rice. The effect of rainfall, soil type and slope were correlated to the NDVI value and the differences in NDVI values were analyzed for the differences in these physical factors. The results showed that the trend of the NDVI value of the rice growth phase was in the form of a parabolic curve of the order-2. The age of rice is generally 110 days old. Land units are divided into 3, according to these physical factors (OATRAL, DFTRL, DFTTL). The factors of rainfall, soil type and slope have an effect on plant fertility, but have no significant effect on the age of rice plants. The duration of the nursery affects the age of rice planting.

Keywords : rice growth phase, NDVI, rainfall, soil type and slope

Pendahuluan

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan salah satu makanan pokok terpenting bagi lebih dari separuh penduduk dunia (Bouvet and Le Toan, 2011; Kuenzer and Knauer, 2013; Mosleh and Hassan, 2014; Tornos et al., 2015), terlebih Indonesia. Sampai saat ini, produksi padi, lebih dari 50% berasal dari

Pulau Jawa, terutama Jawa Barat. Dalam hal ini, Kabupaten Subang menjadi kabupaten produsen beras tertinggi ketiga di Indonesia. Kabupaten Subang berada di posisi ketiga setelah Kabupaten Karawang dan Indramayu. Luas panen padi Kabupaten Subang 156.298,50 hektar, produksi padinya sebesar 942.932 ton GKG (Gabah Kering Giling) dan

produksi berasnya sebesar 540.960 ton (subang.go.id).

Salah satu pihak yang selalu menghasilkan produksi padi di Kabupaten Subang adalah PT. Sang Hyang Seri dengan luas panen padi 3.140 hektar tiap tahunnya. PT Sang Hyang Seri merupakan industri pengolahan dan pengemasan benih untuk komoditas pertanian yang tersebar di enam regional yaitu Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera Utara, Lampung, dan Sulawesi Selatan. PT. Sang Hyang Seri merupakan perintis dan pelopor usaha perbenihan di Indonesia serta satu-satunya Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang mempunyai core business perbenihan pertanian (bsn.go.id).

Karena permintaan pangan yang melonjak dan lahan subur yang terbatas, upaya meningkatkan potensi hasil benih unggul guna memperbesar produksi beras di masa mendatang menjadi kebutuhan yang mendesak (Lai, Joon Ket & Lin, Wen Shin, 2021). Oleh karena itu, pemantauan area tanam di PT. Sang Hyang Seri yang tepat dan akurat sangat penting untuk memahami fase pertumbuhan padi dan perubahan produksi pangan serta dampaknya pada kelestarian lingkungan (Boschetti et al., 2014; Gumma et al., 2014).

Van Niel dan. McVicar (2001) menyatakan bahwa pemantauan tanaman, khususnya padi seharusnya disertai pemahaman tentang fenologi tanaman ini. Fenologi sendiri adalah salah satu komponen terpenting dari model tanaman dalam prediksi pertumbuhan dan hasil panen (Ceglar et al., 2011). Fenologi padi mencerminkan fase pertumbuhan padi pada rentang waktu tertentu dan pengaruh dari lingkungan disekitarnya. Pemahaman mengenai fase pertumbuhan padi sangat kompleks. Banyak faktor yang

mempengaruhi percepatan, kesehatan dan produktivitas tanaman. Faktor internal yaitu varietas padi. Faktor fisik lingkungan yaitu curah hujan (Nicholson & Farrar, 1994), kelembapan tanah (T. J. Farrar, et al, 1994), suhu (Huang et.al, 2013), hama penyakit dan berbagai faktor yang dapat dideteksi dengan penginderaan jauh (Huang et.al, 2013). Serta faktor pengelolaan tanaman, termasuk pemupukan dan pengairan (irigasi). Hal ini, secara tidak langsung menandakan bahwa variasi karakteristik suatu lahan sangat mempengaruhi hasil produktivitas dan kesehatan tanaman.

Lahan merupakan bagian dari bentang alam (landscape) yang mencakup pengertian lingkungan fisik termasuk iklim, topografi/relief, tanah, hidrologi, dan bahkan keadaan vegetasi alami (natural vegetation) yang semuanya secara potensial akan berpengaruh terhadap penggunaan lahan (FAO, 1976). Sedangkan, unit lahan merujuk pada area atau wilayah yang diidentifikasi sebagai unit analisis dalam suatu penelitian. Unit ini dapat bervariasi dalam ukuran dan karakteristiknya tergantung pada tujuan penelitian. Dalam konteks penelitian pertanian atau ekologi, unit lahan bisa berupa petak-petak tanah, blok-blok tertentu di lahan pertanian, atau area tertentu di suatu ekosistem. Pemilihan unit lahan bergantung pada skala yang relevan untuk pertanyaan penelitian dan analisis yang akan dilakukan.

Variasai unit lahan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman seperti padi. Karakteristik unit lahan seperti tekstur tanah, drainase, paparan matahari, dan faktor lingkungan lainnya dapat memengaruhi ketersediaan air, nutrisi, dan kondisi mikro lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Misalnya, tanah dengan drainase yang baik dapat mendukung

pertumbuhan akar yang sehat dan menghindari genangan air yang berlebihan yang bisa merugikan pertumbuhan tanaman. Paparan matahari yang berbeda di berbagai unit lahan juga dapat mempengaruhi intensitas fotosintesis dan perkembangan tanaman. Oleh karena itu, analisis variasi unit lahan penting untuk memahami bagaimana faktor-faktor lingkungan pada setiap unit lahan berkontribusi terhadap pertumbuhan tanaman padi dan dapat membantu dalam mengembangkan strategi pertanian yang lebih efektif.

Survei lapangan pada pemantauan fase pertumbuhan padi dan hasil panen padi biasanya memakan waktu, subjektif (Prasad, et al, 2006), dan mahal (Chen, et al, 2011). Seiring berkembangnya teknologi, penilaian kuantitatif pada manajemen pertanian secara presisi dapat dilakukan secara real-time berdasarkan lokasi spesifik yang menjadi tujuan masyarakat (Lai, Joon Ket & Lin, Wen Shin, 2021). Oleh karena itu, penginderaan jauh adalah sarana yang tepat untuk memberikan informasi mengenai sumberdaya pertanian. Sebagai solusi, saat ini penginderaan jauh dapat memberikan informasi kondisi dan sebaran lahan pertanian secara kuantitatif dan kualitatif (Shofiyati dan Agustan, 2015 dalam Suspidayanti, L. & Rokhmana, C. A., 2021) serta mampu memberikan informasi non destruktif dengan cepat untuk mencapai pertanian presisi (Lai, Joon Ket & Lin, Wen Shin, 2021).

Teknik penginderaan jauh untuk pertanian presisi dapat diatasi dengan Sentinel-2. Syafriyyin, M. A. & Sukojo, B. M. (2014) menyampaikan bahwa teknologi penginderaan jauh melalui data citra satelit dapat mengamati perbedaan fase pertumbuhan suatu vegetasi melalui analisis nilai spektral yang kemudian diklasifikasikan

kedalam fase pertumbuhan. Metode Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan metode yang menggunakan respon spektral citra satelit dengan sensitivitas terhadap kerapatan vegetasi (indeks luas dan daun), tajuk pohon dan kandungan air pada daun tumbuhan (Prakoso, Slamet Sigit & Safitri, Rizki Dwi, 2020). Metode NDVI mencerminkan kehijauan vegetasi dimana semakin tinggi nilainya maka vegetasi semakin sehat dan lebat. Fase pertumbuhan padi akan diketahui melalui sebaran nilai NDVI secara temporal berdasarkan umur tanaman tersebut.

Beberapa penelitian telah banyak dilakukan mengenai fase pertumbuhan padi. Seperti, Lai, J. K. & Lin, W. S. (2021) melakukan penelitian kajian inisiasi malai padi menggunakan indeks vegetasi NDVI di Taiwan. Kemudian, Liyanto, et al (2020) mengkaji analisis produktivitas padi menggunakan indeks vegetasi dari citra Sentinel-2 dan UAV. Kemudian, Liyanto, et al pada tahun 2020 meneliti tentang penggunaan indeks vegetasi berbasis NDVI dari citra satelit Sentinel-2 dan citra UAV multispektral untuk memprediksi produktivitas padi pada musim hujan. Penelitian sejauh ini hanya sebatas meneliti fase pertumbuhan padi berdasarkan nilai indeks vegetasi dan umur tanaman serta nilai produktivitasnya, namun sedikit sekali yang membahas pengaruh karakteristik lahan dan faktor fisik lingkungan terhadap pertumbuhan padi.

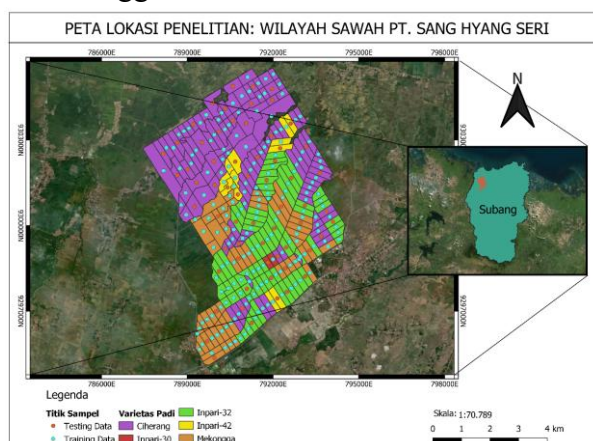
Berdasarkan berbagai permasalahan tersebut, dilakukan penelitian mengenai monitoring fase pertumbuhan tanaman padi di PT Sang Hyang Seri. Monitoring fase pertumbuhan padi tersebut menggunakan citra Sentinel-2 dengan indeks vegetasi NDVI. Penelitian ini diharapkan (a) mengetahui fase pertumbuhan padi

berdasarkan nilai NDVI di PT Sang Hyang Seri. (b) Mengetahui fase pertumbuhan padi menurut unit lahan di PT. Sang Hyang Seri dan faktor yang mempengaruhinya.

Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara langsung dengan pengamatan di lapangan untuk mengetahui fase pertumbuhan padi. Selain itu, dilakukan pengambilan data sekunder seperti pada tabel Penelitian ini dilakukan di wilayah area sawah PT. Sang Hyang Seri, Subang, Jawa Barat. Wilayah PT. Sang Hyang Seri sendiri berada di tiga kecamatan, yaitu Kecamatan Ciasem, Kecamatan Patokbeusi, dan Kecamatan Blanakan. Penelitian ini dilakukan mulai Juni 2022 hingga Juli 2023.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung dan data sekunder diperoleh melalui berbagai instansi tanpa proses pengamatan. dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1 Jenis dan Sumber Data yang Digunakan dalam Penelitian

Data Penelitian	Sumber	Jenis Data
Citra Sentinel Level 2A periode	Google Earth Engine	Sekunder

Data Penelitian	Sumber	Jenis Data
perekaman tanggal 1 Juni 2022-31 Oktober 2022.		
Ground check lapangan fase pertumbuhan padi	Observasi langsung	Primer
Data Waktu Penanaman Padi, Tanggal Tebar, Tanggal Panen, Pemupukan dan Pengairan	PT. Sang Hyang Seri	Sekunder
Shapefile lahan baku sawah wilayah PT. Sang Hyang Seri	PT. Sang Hyang Seri	Sekunder
Shapefile Jenis Tanah di PT. Sang Hyang Seri	Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDL P) Tahun 2017	Sekunder
Data Hujan Satelit CHIRPS Tanggal 1 Juni 2022-31 Oktober 2022.	Google Earth Engine	Sekunder
Peta Kemiringan Lereng di PT. Sang Hyang Seri	DEMNAS Badan Informasi Geospasial	Sekunder

Tahapan Penelitian

Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data lapangan dilakukan untuk melakukan ground check fase pertumbuhan tebu pada tanggal 15 Juli 2022. Nantinya, akan digunakan untuk validasi nilai fase pertumbuhan padi berdasarkan nilai NDVI pada citra. Selain itu, dilakukan wawancara, dan penghimpunan data pengelolaan pertanian di PT. Sang Hyang Seri. Data yang termasuk adalah data waktu penanaman padi, tanggal tebar, tanggal panen, pemupukan dan pengairan.

Preprocessing data Sentinel-2 dilakukan untuk menghilangkan noise pada

data dan meningkatkan kualitas citra. Preprocessing dilakukan dengan melakukan fungsi penghilangan awan, filtering jumlah awan di Google Earth Engine. Pemrosesan data NDVI dilakukan untuk memperoleh indeks vegetasi tersebut. Proses ini dilakukan di Google Earth Engine dengan fungsi Normalized Difference untuk menghasilkan nilai NDVI dalam kurun waktu 1 Juni 2022-31 Oktober 2022 per-blok sawah. Citra yang digunakan adalah citra yang memiliki tutupan awan kurang dari 50%.

Estimasi Fase Pertumbuhan Padi berdasarkan nilai NDVI

a. Pembuatan Regresi Polinomial Hubungan NDVI dan Umur Tanaman Padi

Normalized difference vegetation index (NDVI) merupakan indeks yang diperkenalkan oleh (Kriegler dkk, 1969) dan disempurnakan oleh (Rouse dkk, 1973). NDVI menggunakan band merah dan inframerah dekat dalam penginderaan jauh untuk mengetahui indeks vegetasi dari satelit. Berikut merupakan algoritma NDVI (Lillesand and Kiefer, 1994) pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

Dimana:

ρ_{NIR} =nilai band inframerah dekat

ρ_{RED} =nilai band merah

Domain NDVI adalah antara -1 dan 1, dimana nilai mendekati 1 menunjukkan cakupan vegetasi yang tinggi dengan aktivitas fotosintesis yang intens, sedangkan nilai negatif menunjukkan adanya awan, salju, air atau daerah tanpa vegetasi (Rouse dkk, 1973). NDVI merupakan metode standar dalam membandingkan tingkat kehijauan vegetasi pada data citra satelit kemudian NDVI dapat digunakan sebagai indikator biomassa, tingkat kehijauan relatif,

dan untuk menentukan status kesehatan/kepadatan vegetasi pada suatu wilayah tanpa berhubungan langsung dengan ketersediaan air tanah di wilayah tersebut (Hung, 2000).

Menurut Gujarati, D. N. (2003) dan Hair Jr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019) pengembangan model regresi untuk analisis hubungan indeks vegetasi (NDVI) dan umur hari setelah tanam untuk analisis fase pertumbuhan padi yang mencakup analisis regresi dan validasi model. Sebelum dilakukan analisis regresi, dilakukan uji normalitas dan uji linearitas dari data yang akan digunakan. Setelah itu, data dilakukan pembagian menjadi data training dan data testing. Kemudian dari data training, dilakukan analisis regresi untuk menentukan parameter-model yang terbaik dan memperkirakan hubungan antara variabel independen (umur padi) dan variabel dependen (indeks vegetasi).

Selanjutnya, dari data testing dilakukan validasi model. Validasi model dilakukan untuk memeriksa sejauh mana model regresi polinomial yang telah dikembangkan dapat diandalkan dan dapat digunakan dalam analisis monitoring fase pertumbuhan padi. Validasi model dilakukan dengan menentukan nilai MSE (Mean Square Error), RMSE (Root Mean Square Error), dan R-squared (R^2). Validasi model ini dapat membantu untuk mengetahui akurasi dari model yang telah dikembangkan dan menentukan model terbaik dari nilai error terkecil.

b. Pembuatan Peta Fase Pertumbuhan Padi berdasarkan nilai NDVI

Pembuatan peta fase pertumbuhan padi dilakukan untuk melihat sebaran umur padi pada periode tertentu berdasarkan nilai indeks vegetasi (NDVI). Pembuatan peta sangatlah penting untuk mengetahui sebaran

fase pertumbuhan padi secara spasial setiap blok di PT Sang Hyang Seri. Analisis ini menggunakan citra rentang tanggal 1 Juni 2022-31 Oktober 2022. Sebelumnya dilakukan download citra NDVI dari Google Earth Engine. Kemudian dilakukan klasifikasi fase pertumbuhan padi. Klasifikasi fase pertumbuhan padi tercantum pada tabel berikut:

Tabel 2. Fase Pertumbuhan Padi

Fase	Umur	Ciri-ciri	NDVI
Air	1- 5 hari	Ketika tanaman padi terendam air.	< 0,1
Vegetatif 1	6-40 hari setelah tanam	Saat tanaman mulai tumbuh, baik akar dan daunnya.	0,1-0,4
Vegetatif 2	41-64 hari setelah tanam	Saat tanaman padi sudah beranak dan menghasilkan tunas lebih banyak.	0,4-1
Generatif 1	65-96 hari setelah tanam	Tahap pertama masa pertumbuhan reproduktif, saat tanaman padi membentuk malai.	0,4-1
Generatif 2	97 hari setelah tanam-panen	Saat tanaman padi berbunga dan berbiji.	0,1-0,4
Bera	Setelah panen	Periode waktu setelah panen, saat sawah dibiarkan bera untuk beristirahat dan mempersiapkan panen berikutnya.	<0,1

Sumber: Dirgahayu et al., 2005; Dirgahayu et al., 2014

Proses membedakan fase vegetatif dan generatif setidaknya dibutuhkan dua buah citra yang berbeda tanggal akuisisinya (t dan $t-1$) (Rudiana, Eka, dkk., 2017). Kondisi fase pertumbuhan padi dapat diketahui melalui perubahan nilai NDVI ($dNDVI$). Fase vegetatif ditandai dengan perubahan nilai NDVI positif dan fase generatif ditandai dengan perubahan nilai NDVI negatif. Oleh karena itu, dilakukan

analisis raster calculator untuk membuat peta fase pertumbuhan padi. Rumus untuk mengetahui fase pertumbuhan padi terdapat pada persamaan (2) dan (3) sebagai berikut:

$$Con(("Peta NDVI" - "Peta NDVI-1") >= 0, 0,1) >> \text{hasilnya } dNDVI$$

$$Con ("dNDVI" == 0, Con ("Peta NDVI" <= 0.2, 1, Con ("Peta NDVI " <= 0.4, 2, 3)), Con ("Peta NDVI " >= 0.4, 4, Con ("Peta NDVI " >= 0.2, 5, 6)))$$

Dimana:

Peta NDVI = nilai NDVI pada hari tersebut,
NDVI-1 = nilai NDVI pada citra sebelumnya,

$dNDVI$ = nilai selisih NDVI,

1 = fase air,

2 = fase vegetatif 1,

3 = fase vegetatif 2,

4 = fase generatif 1,

5 = fase generatif 2 dan

6 = fase bera.

Setelah itu, divisualisasikan dan di layout. Untuk mengetahui keakuratan data, dilakukan validasi confusion matrix, untuk mengetahui perbandingan keakuratan antara data citra Sentinel-2 yang telah diekstrak nilai indeks vegetasinya dan data lapangan berupa data ground check point. Selain itu dihitung pula perubahan luas lahan tiap fase pertumbuhan pada tiap citra secara temporal. Kemudian divisualisasikan ke dalam bentuk diagram garis dan dianalisis.

Estimasi Variasi Nilai NDVI berdasarkan Unit Lahan di PT. Sang Hyang Seri

Estimasi variasi nilai NDVI berdasarkan unit lahan dilakukan dengan model regresi polynomial dan validasi model. Dalam hal ini, variasi nilai NDVI dikelompokkan berdasarkan satuan unit lahan wilayah sawah di PT. Sang Hyang Seri. Hal ini dikarenakan menurut FAO, (2023) Nilai NDVI dapat berbeda-beda berdasarkan

satuan unit lahan. Hal ini karena setiap unit lahan berbeda dapat mempengaruhi kesehatan dan produktivitas vegetasi. Pembuatan peta satuan unit lahan sendiri berdasarkan data nilai curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng.

FAO (2016), IRRI (2017), dan USDA (2018) menjelaskan bahwa delineasi atau overlay metode intercept memiliki tujuan tertentu. Pertama delineasi dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan area yang memiliki potensi untuk ditanami padi. Kedua, untuk menganalisis hubungan antara karakteristik lahan dan produksi padi. Ketiga, untuk membuat peta satuan unit lahan untuk penanaman padi yang lebih detail. Berikut masing-masing tabel kriteria klasifikasi unit lahan sawah di PT. Sang Hyang Seri:

Tabel 3. Kriteria Curah Hujan (Mohr, 1933 dan IRRI, 2017)

Kode	Kelas	Kriteria
Td	Hujan Tinggi	Curah hujan harian di atas 100 mm
Tr	Hujan Sedang	Curah hujan harian 60-100 mm
Tt	Hujan Rendah	Curah hujan harian < 60 mm

Tabel ini menjelaskan kriteria yang digunakan untuk menilai unit lahan untuk budidaya padi berdasarkan curah hujan. Pembagian skor ini didasarkan pada artikel IRRI tahun 2017 tentang Soil and water management for rice production. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa padi membutuhkan curah hujan yang cukup untuk tumbuh dan berkembang. Curah hujan yang terlalu rendah dapat menyebabkan padi mengalami kekeringan, sedangkan curah hujan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan padi terendam air dan membusuk. Menurut Mohr (1933), curah hujan bulanan di atas 100 mm termasuk bulan basah dan termasuk tinggi. Lahan dengan curah hujan harian 60-

100 mm menurut Mohr (1933) termasuk bulan lembab, dan lahan dengan curah hujan harian kurang dari 60 mm dan termasuk bulan kering.

Tabel 4. Kriteria Jenis Tanah (FAO, 2003 dan Soepardi, dkk. 2014)

Kode	Kelas	Kriteria
Df	Tanah Sesuai	Jenis tanah Dystric Fluvisols
Oa	Tanah Kurang Sesuai	Jenis tanah Orthic Acrisols

Tabel ini menjelaskan kriteria yang digunakan untuk menilai unit lahan untuk budidaya padi berdasarkan jenis tanah. Menurut FAO (2003) jenis tanah Dystric Fluvisols memiliki kemampuan drainase baik dan biasanya ditemukan di daerah sungai sehingga masuk ke kelas tanah sesuai, karena tanah Dystric Fluvisols, yaitu jenis tanah yang berdrainase baik dan mampu menahan air dengan baik. Sedangkan menurut Soepardi, D., Hartatik, W., & Rosmarkam, A. (2014) jenis tanah Orthic Acrisols adalah tanah yang memiliki drainase buruk dan kandungan bahan organik rendah sehingga masuk kelas tanah kurang sesuai.

Tabel 5. Kriteria Kemiringan Lereng (Arsyad, 1989)

Kode	Kelas	Kriteria
L	Datar	Kemiringan lereng dibawah 3%
Al	Landai-Agak miring	Kemiring lereng 4-15%
C	Miring-Curam	Kemiringan lereng >15%

Tabel ini menjelaskan kriteria yang digunakan untuk menilai unit lahan untuk budidaya padi berdasarkan kemiringan lereng. Semakin landai dan datar, maka lahan semakin cocok untuk pertumbuhan padi, karena padi berakar pendek dan rentan jika ditanam di kemiringan lereng tinggi.

Menurut Arsyad (1989), tanah dengan kemiringan kurang dari 3%, yang dianggap sebagai tanah dengan kemiringan datar. Lahan dengan kemiringan 4-15% termasuk landai-agak curam, dan lahan dengan kemiringan lebih besar dari 15% termasuk miring-curam.

Masing-masing faktor tersebut kemudian dilakukan analisis metode matching untuk menentukan kelas unit lahan di PT. Sang Hyang Seri. Kelas lahan paling sesuai akan diberi nilai S1, sesuai sedang akan diberi nilai S2 dan kurang sesuai akan diberi nilai S3. Kemudian, dilakukan korelasi masing-masing faktor tersebut dengan nilai NDVI untuk mengetahui pengaruhnya. Setelah itu, dianalisis berbagai faktor lingkungan terhadap kurva fase pertumbuhan padi pada setiap unit lahan.

Hasil dan Pembahasan

Fase Pertumbuhan Padi di PT. Sang Hyang Seri

Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase pertumbuhan padi digolongkan menjadi fase air, vegetatif 1, vegetatif 2, generatif 1, generatif 2, dan bera. Kesesuaian fase pertumbuhan padi dengan kondisi lapangan dihitung dengan confusion matrix. Hasil uji akurasi dengan confusion matrix dapat dilihat nilainya sebagai berikut:

Tabel 6. Uji Akurasi Confusion Matrix Fase Pertumbuhan Padi dengan Data Lapangan

Fase	Air	Vegetatif 1	Vegetatif 2	Generatif 1	Generatif 2	Bera	Total	U_Accuracy	Kappa
Air	7	1	0	0	0	2	10	0,7	0
Vegetatif 1	0	12	0	0	0	1	13	0,923	0
Vegetatif 2	0	0	10	0	2	0	12	0,833	0
Generatif 1	0	0	1	6	2	1	10	0,6	0
Generatif 2	0	0	0	0	10	1	11	0,909	0
Bera	1	0	0	0	1	8	10	0,8	0
Total	8	13	11	6	15	13	66	0	0
P_Accuracy	0,875	0,92	0,90	1	0,667	0,61	0	0,803	0,763
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0	0,763

Sumber: Data Penelitian, 2023

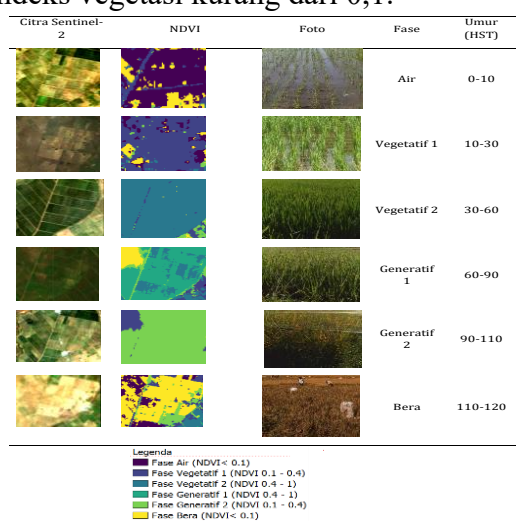
Akurasi menunjukkan nilai 0,803 untuk *producer accuracy* dan 0,763 untuk *kappa accuracy*. Nilai *producer accuracy* yang berarti "recall" atau "sensitivity" dihitung dengan membagi jumlah sampel positif yang diklasifikasikan dengan benar oleh model dengan jumlah total sampel positif dalam dataset. Artinya, sebanyak 0,803 persentase kelas positif yang berhasil diidentifikasi dengan benar oleh model pengklasifikasi. Sedangkan, nilai kappa 0,763 menandakan ketidakseimbangan kelas sebesar 0,237.

Pada proses pengolahan tanah, lahan memerlukan keadaan basah yang digenangi air. Ketika tanaman padi baru tumbuh (tanam ulang), area persawahan selalu tergenang air dan yang tampak dominan adalah air yang mengisi lahan (fase air). Seiring dengan perkembangan tanaman, kondisi persawahan akan berubah menjadi didominasi oleh daun-daun padi. Menurut Wahyuno, dkk. (2006) pada puncak pertumbuhan vegetatif, tingkat kehijauan yang tinggi terjadi karena kandungan klorofil yang tinggi. Setelah periode tersebut, tingkat kehijauan akan menurun, bunga-bunga padi muncul, dan akhirnya berubah menjadi kuning. Tahap pertumbuhan akan berakhir dengan masa panen, dan lahan akan dibiarkan kosong untuk jangka waktu tertentu, tergantung pada pola tanamnya. Oleh karena itu, tahap pertumbuhan tanaman padi dapat dikelompokkan menjadi empat kategori, yaitu fase air, fase pertumbuhan vegetatif, fase pertumbuhan generatif, dan fase bera.

Visualisasi fase pertumbuhan padi di PT. Sang Hyang Seri dapat dilihat di gambar 3.1. Fase air ditandai warna cerah pada citra Sentinel-2 RGB, dan warna biru gelap pada nilai NDVI. Sedangkan keadaan di lapangan padi masih masa awal tanam dengan ukuran yang kecil. Fase vegetatif ditandai dengan

warna gelap di citra Sentinel-2, dengan warna biru agak cerah pada nilai NDVI. Pada fase ini, nilai NDVI mencapai maksimum. Fase generatif ditandai warna citra Sentinel-2 dan foto lapangan yang mulai menguning. Terakhir fase bera ditandai dengan warna citra Sentinel-2 yang berwarna kuning dan kenampakan padi pasca panen pada foto lapangan.

Fluktuasi nilai indeks vegetasi fase pertumbuhan padi dapat dilihat pada legenda dalam gambar 3.1. Fase bera yang didominasi oleh air diklasifikasikan dengan nilai $NDVI < 0,1$. Padi yang masih kecil dan sedikitnya vegetasi membuat nilai NDVI rendah. Fase vegetatif 1 memiliki nilai indeks vegetasi 0,1-0,4. Pada fase ini, padi mulai tumbuh akar dan daunnya. Fase vegetatif 2 memiliki nilai indeks vegetasi 0,4-1. Pada fase ini padi mulai beranak dan dalam masa puncak pertumbuhan. Pada fase generatif nilai indeks vegetasi menurun dari 1 sampai 0,4. Hal ini karena padi mulai tumbuh malai dan mulai menguning. Fase generatif 2 penurunan indeks vegetasi berlanjut. Pada fase ini dideteksi indeks vegetasi 0,4 menurun sampai 0,1. Fase bera yang merupakan masa setelah panen memiliki indeks vegetasi kurang dari 0,1.



Gambar 2. Visualisasi Fase Pertumbuhan Padi

Identifikasi waktu perkiraan waktu tanam dapat dilihat di gambar 3.2. Dalam gambar, angka 1 berarti fase air, angka 2 berarti fase vegetatif 1, angka 3 berarti fase vegetatif 2, angka 4 berarti fase generatif 1, angka 5 berarti fase generatif 2, dan angka 6 berarti fase bera. Tanggal atau waktu awal tanam dapat ditentukan berdasarkan fase pertumbuhan padi yang paling awal dengan luas lahan yang signifikan. Dalam data yang diberikan, fase "Air" memiliki luas lahan yang signifikan pada tanggal 03 Juni 2022 dengan luas lahan 106,466 Ha. Selain itu, waktu tanam kedua dengan jumlah luas lahan lebih besar dan dominan pada tanggal 23 Juni 2022. Pada tanggal 23 Juni, juga dianggap sebagai awal fase air dan vegetatif 1. Pada fase vegetatif 1, luas lahan mulai tumbuh secara teratur dari 1229,5 Ha hingga mencapai 1446,68 Ha pada tanggal 8 Juli 2022.

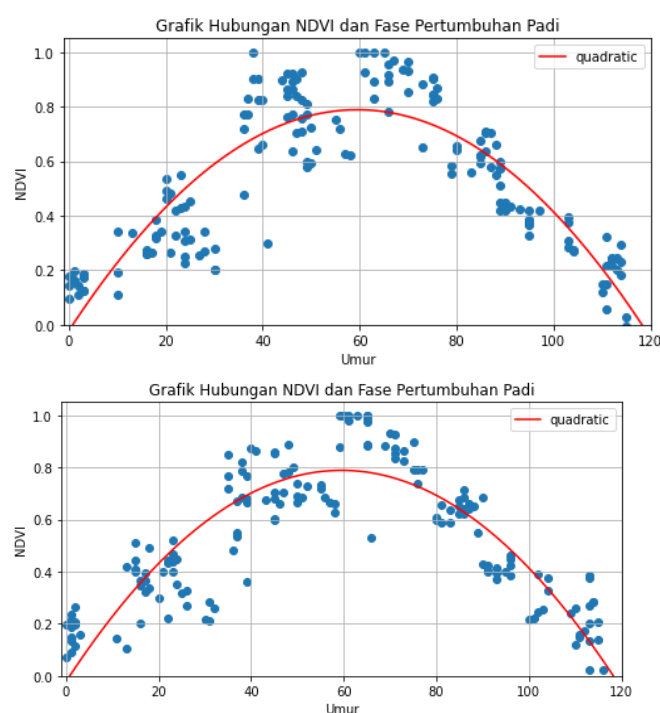
Fase vegetatif 2 mulai dominan pada tanggal 18 Juli 2022 dengan luas lahan 599,845 Ha. Fase ini terus terjadi hingga tanggal 7 Agustus 2022 dengan luas lahan 924,732 Ha. Kemudian, fase generatif 1 mulai dominan pada tanggal 27 Agustus 2022 158,352 Ha dan juga tanggal 11 September 2022 dengan peningkatan luas lahan hingga 621,832 Ha. Fase generatif 2 mulai dominan pada tanggal 26 September 2022 dengan luas lahan 1955,689 Ha. Terakhir, fase bera mulai dominan pada tanggal 31 Oktober 2022 dengan luas lahan 990,12 Ha.



Gambar 3. Grafik Perubahan Luas Lahan Fase Pertumbuhan Padi

Perkiraan lama tiap fase pertumbuhan padi dapat dianalisis berdasarkan gambar 3.2. Fase air berlangsung sekitar 20 hari. Fase vegetatif 1 memiliki durasi 20 hari. Fase vegetatif 2 memiliki durasi 20 hari. Fase generatif 1 memiliki durasi 15 hari. Fase generatif 2 memiliki durasi 20 hari. Terakhir fase bera memiliki durasi 15 hari. Namun, perlu catatan bahwa lama durasi tiap fase pertumbuhan padi dipengaruhi oleh kesalahan dalam nilai NDVI yang disebabkan oleh gangguan atmosfer. Hal ini mengakibatkan nilai NDVI yang seharusnya tinggi karena terkena awan menjadi rendah. Akibatnya, fase vegetatif 2 dan generatif 1 yang seharusnya terekam malah menjadi fase air, vegetatif 1, ataupun bera. Namun, secara keseluruhan pengamatan dengan penginderaan jauh cukup mumpuni untuk menganalisis fase pertumbuhan padi. Hal ini dilihat dari gambar 3.1 dimana perubahan luas dominan fase pertumbuhan padi bisa dicerna dan sesuai dengan data lapangan waktu tanam padi. Jadi, berdasarkan analisis, total lama fase pertumbuhan padi adalah 110 hari. Fase yang memiliki periode paling lama adalah fase air, fase vegetatif 1, fase vegetatif 2, dan fase generatif 2. Sedangkan fase generatif 1 dan fase bera hanya memiliki periode 15 hari.

Grafik hubungan nilai NDVI dan umur padi membentuk kurva parabolik pada gambar 3.3. Hal ini sesuai dengan pendapat Wahyuno, dkk. (2006) bahwa pertumbuhan tanaman padi mulai dari fase tanam sampai fase panen mempunyai nilai NDVI yang menunjukkan kurva parabolik. Tanaman padi biasanya memerlukan waktu 3-4 bulan untuk tumbuh mulai dari pembenihan sampai dengan panen, tergantung dari jenis varietas padi dan kondisi tempat tanaman padi tumbuh (Wahidah, N., dkk., 2016). Hal ini sesuai dengan data perubahan luas fase pertumbuhan padi pada gambar 3.2 bahwa dibutuhkan waktu 3 bulan untuk mencapai masa panen.



Gambar 4. Model Regresi Polynomial Pada Fase Pertumbuhan Padi Data Training (atas) dan Model Regresi Polynomial Data Testing (bawah)

NDVI pada tanaman padi baru dapat diukur setelah tanaman padi mencapai umur 3-4 MST (minggu setelah tanam), karena sebelum umur tersebut kenampakan tanaman padi di lahan sawah masih didominasi kenampakan genangan air (Malingreau, 1981). Hal ini yang mengakibatkan nilai NDVI dibawah 20 hari memiliki nilai di bawah 0.2 (gambar 3.3). Begitu pula pada fase bera pada hari 100 ke atas memiliki nilai NDVI di bawah 0.2 (gambar 3.3). Sedangkan, nilai NDVI mulai tinggi dan mencapai puncak pada hari ke-60 menandakan padi tumbuh semakin lebat (gambar 3.3). Hal ini sesuai dengan pendapat Wahyuno, dkk (2006) bahwa nilai NDVI yang rendah berarti tingkat klorofil rendah, sedangkan nilai yang semakin tinggi menunjukkan bahwa tanaman tersebut semakin lebat/hijau.

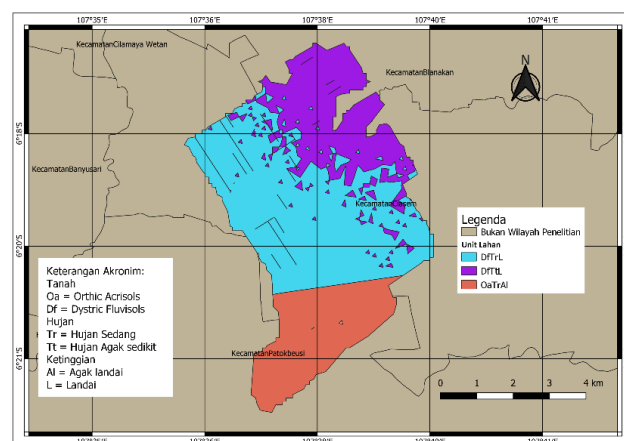
Tabel 7. Akurasi Model Regresi Polynomial Pada Data Training dan Data Testing

Jenis Data	R-squared	RMSE	MSE
Data Training	0.81	0.136	0.1269
Data Testing	0.74	0.356	0.0185

Nilai akurasi model regresi polynomial fase pertumbuhan padi terdapat pada tabel 3.3. Nilai kedekatan garis prediksi (garis merah) dengan data digambarkan dalam koefisien determinasi R-squared (Wahidah, N., dkk., 2016). Jika nilai R-squared mendekati 1 maka model prediksi semakin baik, jika sebaliknya mendekati 0, maka diartikan tidak ada kesesuaian antara garis prediksi dengan data. Nilai R-squared pada data training yang lebih besar dengan data testing menjelaskan bahwa model mengalami underfitting, atau model kurang mampu diaplikasikan untuk data lain. Hal ini karena terdapat pencilan data yang berada jauh di luar garis prediksi. Hal ini dikarenakan gangguan awan atau atmosferik yang menyebabkan nilai NDVI yang dihasilkan bukanlah nilai yang sebenarnya. Terutama sering terjadi ketika sulit membedakan fase air dan fase bera. Hal ini karena susah membedakan fase bera yang tergenangi air dan tidak tergenangi air.

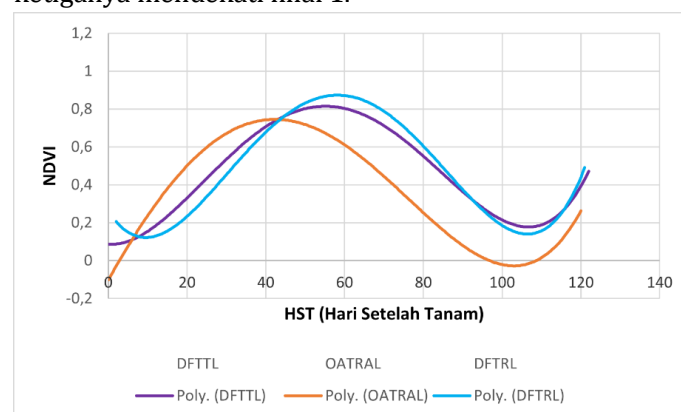
Variasi Nilai NDVI Berdasarkan Unit Lahan

Hasil penelitian penunjukkan bahwa unit lahan di PT. Sang Hyang Seri terbagi menjadi tiga. Unit lahan 1 dengan kode OATRAL berada di bagian selatan dengan warna merah pada peta (gambar 3.4). Unit lahan 2 dengan kode DFTRL berada di bagian tengah dengan warna biru muda (gambar 3.4). Terakhir, unit lahan 3 dengan kode DFTTL berada di bagian utara dengan warna ungu (gambar 3.4). Pembagian unit lahan tersebut berdasarkan variasi nilai curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng secara spasial. Kemudian dilakukan overlay metode intercept dan dilakukan dissolve di software ArcGIS 10.8 untuk menghasilkan 3 unit lahan tersebut.



Gambar 5. Peta Unit Lahan di PT. Sang Hyang Seri

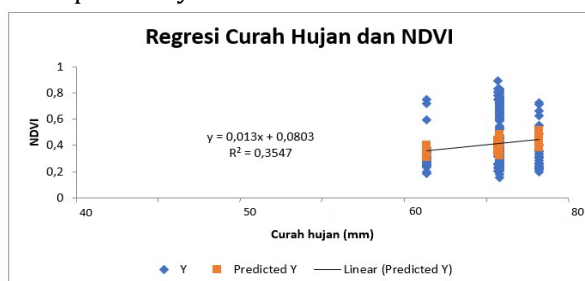
Hubungan NDVI dan hari setelah tanam (HST) pada tiap unit lahan digambarkan pada gambar 3.5. Hubungan tersebut membentuk kurva parabolik seperti analisis sebelumnya. Bagian yang mengalami kenaikan adalah fase air-vegetatif sedangkan bagian yang mengalami penurunan adalah fase generatif-bera. Nilai NDVI pada awalnya rendah. Ketika padi mulai tumbuh, nilai NDVI naik seiring tanaman padi yang mulai menghihau. Kemudian, saat masa puncak pertumbuhan, nilai NDVI mencapai maksimum. Kemudian, ketika masa generatif nilai NDVI turun kembali hingga mencapai minimum pada fase bera. Hal inilah yang membuat kurva NDVI berbentuk kurva parabolik terbalik. Kurva pada unit lahan OATRAL memiliki nilai $R^2 = 0,7248$. Kurva pada unit lahan DFTTL memiliki nilai $R^2 = 0,8281$ dan kurva pada unit lahan DFTRL memiliki nilai $R^2 = 0,8661$. Ketiga nilai R^2 dikatakan baik karena ketiganya mendekati nilai 1.



Gambar 6. Kurva Pertumbuhan Padi Pada Tiap Unit Lahan

Faktor fisik geografis pada tiap unit lahan berpengaruh terhadap pertumbuhan padi. Hal ini ditandai oleh perbedaan pada tiga kurva hubungan nilai NDVI dan HST. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.5 dimana nilai NDVI pada lahan 1 mencapai puncak pada 40 HST. Grafik tersebut diinterpretasikan bahwa padi memiliki masa pertumbuhan 100 hari. Hal ini berbeda dengan unit lahan 2 dan 3 dimana nilai NDVI mencapai puncak pada 60 HST. Dimana kedua grafik tersebut menginterpretasikan bahwa padi memiliki masa pertumbuhan lebih lama, yaitu 110 hari. Hal ini tentu berkaitan dengan kesesuaian lahan yang dijelaskan sebelumnya.

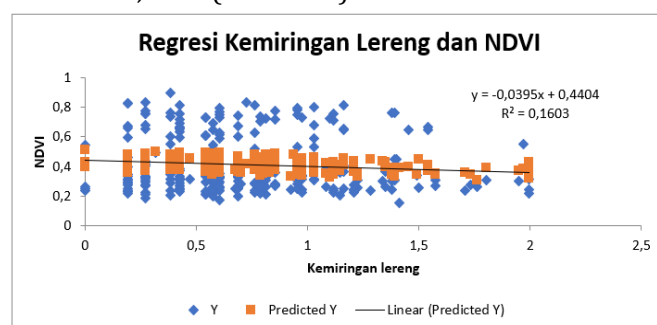
Unit lahan 1 (OATRAL) memiliki curah hujan sedang dengan kemiringan agak landai dan tipe tanah Orthic Acrisols. Unit lahan 2 (DFTRL) memiliki curah hujan sedang dengan kemiringan landai dan jenis tanah Dystric Fluvisols. Unit lahan 3 (DFTTL) memiliki curah hujan agak sedikit dengan kemiringan landai dan jenis tanah Dystric Fluvisols. Jenis tanah Dystric Fluvisols memiliki pengaruh yang lebih baik daripada Orthic Acrisols untuk pertumbuhan tanaman padi karena berisi endapan fluvial. Curah hujan yang lebih banyak atau sedang dan kemiringan lereng landai lebih cocok untuk ditanami padi yang berakar pendek dan resisten terhadap erosi. Hal ini kemungkinan menyebabkan padi di unit lahan 2 (DFTRL) lebih subur daripada di wilayah lain. Hal ini sesuai dengan kurva unit lahan 2 (DFTRL) pada gambar 5 yang memiliki nilai NDVI mendekati 1 pada masa puncaknya.



Gambar 7. Regresi Curah Hujan dan NDVI

Pengukuran secara statistik dilakukan untuk mengetahui hubungan nyata secara matematis antara jenis tanah, curah hujan dan kemiringan lereng pada tiap unit lahan. Hubungan curah hujan dan nilai NDVI

digambarkan dalam regresi linier dengan nilai $R^2 = 0,3547$ (Gambar 3.6). Hal ini menandakan nilai curah hujan berpengaruh sedikit terhadap variasi nilai NDVI. Ini berarti bahwa hanya sekitar 35% variasi nilai NDVI yang dapat dijelaskan oleh curah hujan. Sisa 65% dari variasi tersebut disebabkan oleh faktor lain, seperti jenis tanah, kemiringan, varietas pemupukan dan pembibitan dalam tabel 3.4. Hal yang sama ditunjukkan untuk hubungan kemiringan lereng dan NDVI dimana diperoleh nilai $R^2 = 0,1603$ (Gambar 8).



Gambar 8. Regresi Kemiringan Lereng dan NDVI

Kemiringan lereng memiliki pengaruh kecil terhadap variasi nilai NDVI. Ini berarti bahwa hanya sekitar 16% variasi nilai NDVI yang dapat dijelaskan oleh kemiringan. Sisa 84% dari variasi tersebut disebabkan oleh faktor lain dalam tabel 3.4. Berdasarkan gambar 3.7, kemiringan lereng bervariasi antara 0-2%. Jika diperhatikan, saat nilai kemiringan semakin tinggi membuat grafik prediksi semakin menurun. Hal ini menunjukkan korelasi negatif dimana semakin tinggi kemiringan lereng semakin rendah nilai NDVI-nya.

Tabel 8. Korelasi Kendall's tau Jenis Tanah dan NDVI

Keterangan		NDVI	Jenis Tanah
NDVI	Correlation Coefficient	1.000	0,427
	Sig. (2 tailed)		0.01
		261	261

Hubungan jenis tanah dan NDVI direpresentasikan dalam korelasi Kendall's Tau dengan nilai koefisien korelasi 0.427. Hal ini menandakan ada hubungan positif dengan frekuensi sedang antara jenis tanah dan NDVI. Artinya ada kecenderungan nilai NDVI lebih tinggi pada satuan lahan dengan Dystric

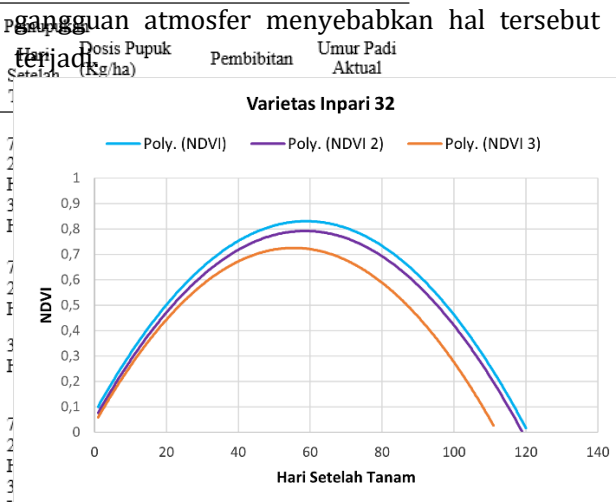
Fluvisols dibandingkan pada satuan lahan dengan Orthic Acrisols. Hubungan ini memiliki dengan nilai signifikansi 0,001. Dalam analisis statistik, nilai $p < 0,05$ (atau 5%) biasanya dianggap sebagai bukti hubungan yang signifikan secara statistik. Nilai signifikansi 0,01 pada korelasi Kendall antara NDVI dan jenis tanah berarti ada kemungkinan 1% bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut adalah hasil kebetulan semata. Semakin kecil nilai signifikansi, semakin besar kemungkinan bahwa hubungannya nyata (bukan kebetulan). Semua faktor tersebut berpengaruh sedikit karena ada faktor lain yang mempengaruhi nilai NDVI. Hal ini dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Pengaruh Faktor Fisik dan Pengelolaan terhadap Usia Pertumbuhan Padi

Unit Lahan	Varietas	Umur Padi berdasarkan Literatur	Jenis Tanah	Curah Hujan	Kemiringan Lereng	Pemupukan ke-
1	Ciherang	99-109 hari	Orthic Acrisols	Sedang	Agak Landai	1
	Inpari 32	104-114 hari				2
	Mekongga	109-119 hari				3
	Ciherang	99-109 hari				1
2	Inpari 32	104-114 hari	Dystric Fluvisols	Sedang	Landai	2
	Inpari 30	94-104 hari				3
	Mekongga	109-119 hari				3
	Ciherang	99-109 hari				1
3	Inpari 32	104-114 hari	Dystric Fluvisols	Rendah	Landai	2
	Inpari 42	94-104 hari				3

Masa tanam terpendek pada kurva unit lahan 1 nyatanya bukan terpengaruh secara signifikan oleh faktor variasi jenis varietas padi, jenis tanah, curah hujan, kemiringan lereng dan pemupukan. Namun dipengaruhi oleh faktor lamanya pembibitan. Seperti dalam tabel 9 varietas padi umumnya memiliki umur tanam yang berbeda-beda mulai dari 99 hari – 119 hari. Varietas Ciherang memiliki masa tanam paling pendek dan varietas Mekongga memiliki masa tanam paling lama. Semua jenis varietas tersebut berada pada lingkungan curah hujan, jenis tanah dan kemiringan lereng yang berbeda. Namun, mendapatkan perlakuan yang sama terkait pemupukan dengan 3 kali pemupukan pada 7 HST, 21 HST dan 35 HST dengan banyaknya pupuk yang sama.

Varietas padi pada berbagai unit lahan memiliki karakteristik kurva yang mirip dengan kurva pertumbuhan padi pada setiap unit lahan (Gambar 3.8). Varietas padi Inpari 32 memiliki usia pertumbuhan 120 hari pada unit lahan DFTTL dan DFTRL. Sedangkan pada unit lahan OATRAL memiliki usia pertumbuhan 110 hari. Pola yang sama juga terjadi pada varietas lainnya, yaitu varietas Ciherang, Inpari 30, Inpari 42 dan Mekongga. Nilai NDVI yang terekam tidak terlalu sensitif terhadap variasi padi, hal ini karena perbedaan variasi yang beragam dengan waktu tanam yang sama cenderung terekam memiliki nilai NDVI yang sama. Hal ini mengakibatkan usia pertumbuhan tiap varietas tidak bisa diukur secara pasti menggunakan citra satelit, karena ada bias dalam nilai spektral hasil sensor, pencatatan waktu tanam, dan gangguan atmosfer menyebabkan hal tersebut terjadi.



Gambar 9. Kurva Varietas Inpari pada Tiap Unit Lahan

Secara umum, seperti dijelaskan sebelumnya kurva pada unit lahan 1 memiliki masa tanam terpendek karena umur pembibitan yang lebih lama daripada unit lahan 2 dan 3. Pembibitan pada unit lahan 1 umumnya dilakukan selama 21 hari baru bibit ditanam ke area sawah. Sedangkan, pada unit lahan 2 dan 3 pembibitan umumnya dilakukan selama 15 hari selambatlambatnya 20 hari baru kemudian ditanam ke area sawah. Otomatis, pertumbuhan padi menjadi lebih cepat karena sudah mengalami tahap penanaman sebelumnya. Pengaruh curah hujan, pemupukan, kemiringan lereng dan jenis tanah berpengaruh kepada kesuburan tanaman, tinggi malai, berat benih, dan banyaknya hasil

panen. Namun, hal ini terbatas untuk diketahui melalui citra satelit. Citra satelit hanya menggambarkan hubungan umur padi dan nilai NDVI. Untuk itu, data sekunder bertujuan untuk mencari pengaruh signifikan faktor-faktor pengaruh usia pertumbuhan padi.

Simpulan

Penelitian ini mengelompokkan fase pertumbuhan padi menjadi enam kategori: fase air, vegetatif 1, vegetatif 2, generatif 1, generatif 2, dan bera. Hasil uji akurasi dengan confusion matrix menunjukkan producer accuracy sebesar 0,803 dan kappa accuracy sebesar 0,763. Visualisasi fase pertumbuhan padi menunjukkan perubahan warna dari hitam (fase air) hingga kuning (fase bera). Durasi masing-masing fase pertumbuhan padi berkisar antara 15-20 hari, dengan total lama fase pertumbuhan padi

selama 110 hari. Nilai NDVI menunjukkan kurva parabolik dengan model regresi polynomial yang memiliki akurasi lebih baik pada data training daripada pada data testing, hal ini karena adanya pencilaan data yang disebabkan oleh gangguan atmosfer.

Faktor fisik geografis seperti curah hujan, jenis tanah, dan kemiringan lereng mempengaruhi pertumbuhan padi. Unit lahan dengan curah hujan sedang, jenis tanah yang cocok, dan kemiringan lereng landai cenderung menghasilkan pertumbuhan padi yang lebih subur, terlihat pada unit lahan 2 (DFTRL). Sedangkan, secara umum usia pertumbuhan padi ternyata secara signifikan dipengaruhi oleh lama pembibitan padi, terlihat pada kurva terpendek di unit lahan 1 (OATRAL).

Daftar Rujukan:

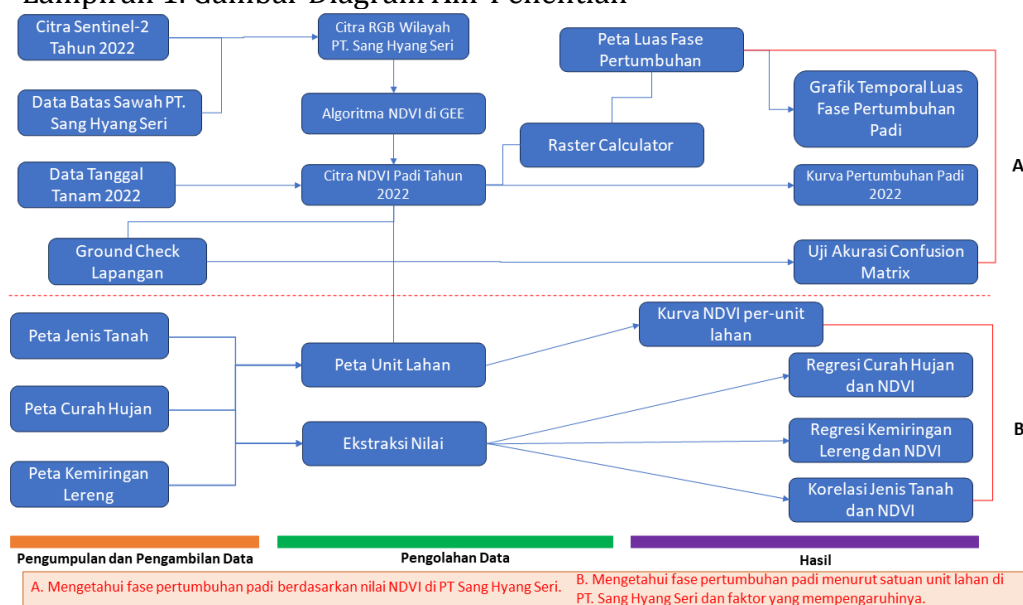
- Agricultural and Forest Meteorology. 151 (1): 101-115.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. PT Sang Hyang Seri (Persero) Subang bersiap menerapkan SNI dari hulu sampai ke hilir. (online), (https://bsn.go.id/main/berita/berita_det/7663), diakses pada 9 Maret 2023.
- Boschetti, M., Nutini, F., Manfron, G., Brivio, P.A., Nelson, A., 2014. Comparative analysis of normalised difference spectral indices derived from MODIS for detecting surface water in flooded rice cropping systems. PLOS ONE 9, e88741.
- Bouvet, A., Le Toan, T., 2011. Use of ENVISAT/ASAR wide-swath data for timely rice fields mapping in the Mekong River Delta. Remote Sens. Environ. 115, 1090–1101.
- Ceglar, A., Z. Črepinšek and L. Kajfež-Bogataj. 2011. The simulation of phenological development in dynamic crop model: The Bayesian comparison of different methods.
- Chen, C.; Quilang, E.J.P.; Alosnos, E.D.; Finnigan, J. Rice area mapping, yield, and production forecast for the province of Nueva Ecija using RADARSAT imagery. Can. J. Remote Sens. 2011, 37, 1–16.
- Dirgahayu D., Nr L., Adhyani, Nugraheni S., 2005. Model Pertumbuhan Tanaman Padi Menggunakan Citra MODIS untuk Pendugaan Umur Padi. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV, Surabaya
- Dirgahayu D., H Noviar, S Anwar, 2014. Model Pertumbuhan Tanaman Padi di Pulau Sumatera Menggunakan Data EVI MODIS Multitemporal. Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh: 333-343.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Remote Sensing of Environment, 120, pp 25–36.
- Escola, A., Badia, N., Arnó, J., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2017). Using Sentinel-2 images to implement Precision Agriculture techniques in large arable fields: First results of a case study. Advances in Animal Biosciences, 8(2), 377–382.

- FAO. (2016). Land suitability for rice production: A guide for using GIS and remote sensing. Rome: FAO.
- Farrar, T. J., Nicholson, S. E., & Lare, A. R. (1994). The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. II. NDVI Response to Soil Moisture (Vol. 50).
- Gujarati, D. N. (2003). Basic econometrics. Tata McGraw-Hill Education.
- Gumma, M.K., Thenkabail, P.S., Maunahan, A., Islam, S., Nelson, A., 2014. Mapping seasonal rice cropland extent and area in the high cropping intensity environment of Bangladesh using MODIS 500 m data for the year 2010. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 91, 98–113.
- Hair Jr, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate data analysis (8th ed.). Cengage Learning.
- Hisyam, N. H. B. et al. 2022. Monitoring of Rice Growth Phases Using Multi Temporal Sentinel-2 Satellite Image. doi:10.1088/1755-1315/1051/1/012021.
- Huang J, Wang X, Li X, Tian H, Pan Z (2013) Remotely Sensed Rice Yield Prediction Using Multi-Temporal NDVI Data Derived from NOAA's-AVHRR. *PloS ONE* 8(8): e70816. doi:10.1371/journal.pone.0070816
- Hung, T. (2000). MODIS Application in Monitoring Surface Parameters. Institute of Industrial Science. University of Tokyo. Tokyo. Japan.
- IRRI. (2017). Soil and water management for rice production. Los Baños, Philippines: IRRI.
- Kriegler, F., Malila, W., Nalepka, R., & Richardson, W. (1969). Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. *Proceedings of the 6th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, MI: University of Michigan, 97-131.
- Kuenzer, C., Knauer, K., 2013. Remote sensing of rice crop areas. *Int. J. Remote Sens.* 34, 2101–2139
- Lai, Joon Ket & Lin, Wen Shin. 2021. Assessment of the Rice Panicle Initiation by Using NDVI-Based Vegetation Indexes. *Appl. Sci.* 2021, 11, 10076. <https://doi.org/10.3390/app112110076>
- Lillesand Th.M. and Ralph W. Keifer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons. New York.
- Liyantono, et al. 2020. Analysis of Paddy Productivity Using Normalized Difference Vegetation Index Value of Sentinel-2 and UAV Multispectral Imagery in The Rainy Season. doi:10.1088/1755-1315/542/1/012059.
- Made Parsa, I., Dirgahayu, D., Manalu, J., Carolita, I., Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, W. K., & Jln Kalisari, L. 2017. Uji Model Fase Pertumbuhan Padi Berbasis Citra Modis Multiwaktu Di Pulau Lombok (The Testing Of Phase Growth Rice Model Based On Multitemporal Modis In Lombok Island). <http://MODIS.gsfc.nasa>.
- Malingreau J.P. 1981. Remote Sensing for Monitoring Rice Production in the Wet Tropics: Approach and Implication. *Symposium on Application of Remote Sensing for Rice Production*. Hyderabad, India.
- Mosleh, M., Hassan, Q., 2014. Development of a remote sensing-based boro rice mapping system. *Remote Sens.* 6, 1938–1953.
- Nicholson, S. E., & Farrar, T. J. (1994). The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana. I. NDVI Response to Rainfall (Vol. 50).
- Pemerintah Daerah Kabupaten Subang. 2020. Kabupaten Subang Produsen Beras Tertinggi Ketiga di Indonesia. (online), (<https://www.subang.go.id/berita/kabupaten-subangprodusen-beras-tertinggi-ketiga-di-indonesia>) diakses pada 10 Februari 2023.
- Prakoso, Slamet Sigit & Safitri, Rizki Dwi. (2020). Analisis Perbandingan Metode NDVI dan Maximum Likelihood Classification untuk RTH Analisis Perbandingan Metode Normalized Vegetation Index Dan Maximum Likelihood Classification Untuk Analisis Ruang Terbuka Hijau.
- Prasad, A.K.; Chai, L.; Singh, R.P.; Kafatos, M. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2006, 8, 26–33. [CrossRef].
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973) Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, 10-14 December, SP-351, 309-317.
- Rudiana, E., Rustiadi, E., Firdaus, M., & Dirgahayu, D. (2017). Pengembangan Penggunaan Penginderaan Jauh untuk Estimasi Produksi Padi (Studi Kasus Kabupaten Bekasi). *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 19(1), 6–12. <https://doi.org/10.29244/jitl.19.1.6-12>.

- Segarra, J., Buchailot, Maria, L., Araus, Jose, L., Kefauver, Shawn, C. (2020). Remote sensing for precision agriculture: Sentinel-2 improved features and applications. *Agronomy*, 10(641), pp 1-18.
- Suspidayanti, L., & Aries Rokhmana, C. (2021). Identifikasi Fase Pertumbuhan Padi Menggunakan Citra SAR (Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1 (Issue 2).
- Syafriyyin, M. A. R., & Sukojo, B. M. 2014. Optimalisasi Pemetaan Fase Pertumbuhan Padi Berdasarkan Analisa Pola Reflektan Dengan Data Hiperspektral Studi Kasus: Kabupaten Karawang. *GEOID Vol. 09, No. 02, Februari 2014* (121-127).
- Tornos, L., Huesca, M., Dominguez, J.A., Moyano, M.C., Cicuendez, V., Recuero, L., Palacios-Orueta, A., 2015. Assessment of MODIS spectral indices for determining rice paddy agricultural practices and hydroperiod. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 101, 110–124.
- USDA. (2018). Rice production handbook. Washington, D.C.: USDA.
- Van Niel, TG., McVicar, TR. 2001. Remote sensing-based irrigated agric. Rice CRC, p. 52.
- Wahidah, N., Bambang, S. ;, Arwan, S. ;, & Wijaya, P. (2016). Analisis Fase Tumbuh Padi Menggunakan Algoritma Ndvi, Evi, Savi, Dan Lswi Pada Citra LANDSAT 8. In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 5, Issue 1).
- Wahyunto, Widagdo, Heryanto, B. 2006. Pendugaan Produktivitas Tanaman Padi Sawah Melalui Analisis Citra Satelit.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Diagram Alir Penelitian



Lampiran 2. Gambar Peta Fase Pertumbuhan Padi Periode Juni-November 2022

