

ESTIMASI TINGKAT PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN ALGORITMA NDVI, EVI DAN SAVI MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 MULTITEMPORAL (Studi Kasus: Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah)

Dita Ariani^{*}), Yudo Prasetyo, Bandi Sasmito

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : ditaariani111@gmail.com

ABSTRAK

Beras merupakan salah satu sumber pangan pokok bagi kehidupan, khususnya bagi masyarakat Indonesia selain sagu, jagung dan singkong. Sebagai komoditas pertanian yang paling dominan, tingkat permintaan akan beras sebagai kebutuhan yang mendasar sangatlah tinggi. Estimasi mengenai produktivitas padi pun sangat diperlukan guna mengoptimalkan perencanaan penanaman yang tepat dan produksi padi yang maksimal untuk mendukung ketahanan pangan nasional. Indonesia mempunyai banyak daerah yang berfungsi menjadi penyangga pangan nasional, salah satunya adalah Kabupaten Pekalongan. Penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang cocok untuk pengaplikasian estimasi produksi padi di wilayah Kabupaten Pekalongan. Keunggulan teknologi ini terkait dengan pemrosesan data dan informasi yang cepat, tepat dan akurat. Penelitian ini menggunakan citra Sentinel-2A berbasis *open source* untuk pengolahan estimasi produktivitas padi. Pada citra Sentinel-2A multitemporal diterapkan algoritma NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*) dan SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) untuk mengetahui tingkat persebaran indeks vegetasi di Kabupaten Pekalongan. Model persebaran nilai indeks vegetasi tersebut didasarkan pada analisis regresi untuk mendeskripsikan nilai produktivitas padi. Hasil pengolahan fase tumbuh padi menggunakan NDVI, EVI dan SAVI menunjukkan bahwa pola sebaran indeks vegetasi di Kabupaten Pekalongan bersifat heterogen. Hasil regresi linier berganda masing-masing variabel NDVI, EVI dan SAVI secara berturut-turut menghasilkan koefisien determinasi sebesar 0,332, 0,269, dan 0,283. Berdasarkan model regresi tersebut diperoleh RMSE estimasi produktivitas padi menggunakan transformasi NDVI, EVI dan SAVI terhadap data dinas secara berturut-turut 4,24 kw/ha, 4,54 kw/ha dan 4,47 kw/ha. Sehingga dapat diketahui bahwa dari 3 model estimasi produktivitas padi yang telah diperoleh, hasil estimasi yang hampir mendekati nilai produktivitas yang dikeluarkan oleh DKPP adalah model dengan variabel NDVI dibandingkan dengan variabel EVI dan SAVI.

Kata Kunci: Citra Sentinel-2A, EVI, NDVI, Produktivitas Padi, SAVI

ABSTRACT

Rice is one of the main sources of food for life, especially for the Indonesian in addition to sago, corn and cassava. As the most dominant agricultural commodity, the level of demand for rice as a basic needed is very high. So the estimation of rice productivity is also very necessary to optimize the proper planting planning and maximum rice production to support national food security. Indonesia has many regions that become national food buffer, one of them is Pekalongan District. Remote sensing is one of the technologies suitable for the application of estimated rice production in the Pekalongan District. These technological advantages are associated with fast, precise and accurate data and information processing. This study uses the Sentinel-2A image based on open source for processing rice productivity estimates. In the multitemporal Sentinel-2A images, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index) and SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) algorithms are applied to determine cropping pattern in Pekalongan District. The vegetation index value distribution model is based on a regression analysis to describe the value of rice productivity. The results of processing the rice-growing phase using NDVI, EVI and SAVI show that the pattern of vegetation index distribution in Pekalongan District is heterogeneous. The results of multiple linear regression of each NDVI, EVI and SAVI variables produce a coefficient of determination, respectively 0,332, 0,269, and 0,283. Based on the regression model, it is obtained that RMSE estimates rice productivity using NDVI, EVI and SAVI transformations to DKPP data, respectively 4,24 kw/ha, 4,54 kw/ha and 4,47 kw/ha. So it can be seen that from the 3 rice productivity estimation models that have been obtained, the estimation results that are almost close to the DKPP yield data is model with NDVI variables compared with EVI and SAVI variables.

Keywords: EVI, Sentinel-2A Images, NDVI, Paddy Productivity, SAVI

*) Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Beras merupakan salah satu sumber pangan pokok bagi kehidupan, khususnya bagi masyarakat Indonesia selain sagu, jagung dan singkong. Sebagai komoditas pertanian yang paling dominan, tingkat permintaan akan beras sebagai kebutuhan yang mendasar sangatlah tinggi. Selain itu, pertumbuhan penduduk Indonesia yang semakin bertambah menyebabkan permintaan akan komoditas tersebut terus meningkat. Estimasi mengenai produktivitas padi sangat diperlukan guna mengoptimalkan perencanaan penanaman yang tepat dan produksi padi yang maksimal.

Kabupaten Pekalongan merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah penghasil beras yang cukup tinggi sehingga Kabupaten Pekalongan dijadikan sebagai penyangga pangan Nasional. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Pekalongan (2019), pada tahun 2018 hasil produksi padi mencapai 239.118 ton lebih tinggi dibanding tahun 2017 yang hanya 225.731 ton dengan luas area panen 43.262 ha.

Pengetahuan mengenai produktivitas padi di suatu wilayah menjadi sangat penting bagi pemerintah pusat selaku pengambil kebijakan untuk mendukung ketahanan pangan nasional. Pemanfaatan teknologi modern penginderaan jauh menjadi salah satu alternatif pendugaan produktivitas padi selain menggunakan cara konvensional. Citra Sentinel-2 menjadi salah satu citra satelit yang dapat digunakan dalam bidang pertanian. Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial 10 m dan resolusi temporal 10 hari dengan satu satelit dan 5 hari dengan 2 satelit (ESA, 2018).

Indeks vegetasi yang sering digunakan dalam beberapa penelitian terkait produktivitas padi adalah NDVI atau *Normalized Difference Vegetation Index*. Metode SAVI atau *Soil-Adjusted Vegetation Index* merupakan modifikasi dari NDVI dengan mengurangi efek variasi latar belakang tanah menggunakan faktor penyesuaian tanah (L). Sementara EVI atau *Enhanced Vegetation Index* yang merupakan hasil modifikasi NDVI dimana nilai EVI diperoleh dari reflektansi kanal spektral merah, kanal infra merah dekat (NIR) serta kanal biru. Oleh karena itu, EVI diketahui lebih sensitif terhadap perubahan biomassa selama fase vegetatif yang lama serta tahan terhadap efek atmosfer dan kanopi (Huete dkk., 1997 dalam Dirgahayu dkk., 2015). Nilai hasil transformasi indeks vegetasi tersebut digunakan sebagai pedoman dalam perhitungan produktivitas padi dengan metode ubinan sehingga dapat dilakukan perhitungan estimasi produksi padi yang dapat dipanen di suatu wilayah.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis estimasi produktivitas padi di daerah Kabupaten Pekalongan menggunakan teknologi penginderaan jauh, dimana penginderaan jauh merupakan teknologi yang sangat ideal digunakan mengingat beberapa kelebihan seperti jangkauan yang luas, cepat, hemat dan efisien.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka diangkat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis pola sebaran nilai indeks vegetasi menggunakan algoritma NDVI, EVI dan SAVI di Kabupaten Pekalongan?
2. Bagaimana analisis hasil estimasi produktivitas padi berdasarkan hasil survei lapangan dan regresi linier berganda terhadap hasil pengolahan NDVI, EVI dan SAVI?
3. Bagaimana analisis hasil validasi pengolahan estimasi produktivitas padi terhadap data Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten Pekalongan?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola dan tingkat sebaran nilai indeks vegetasi menggunakan algoritma NDVI, EVI dan SAVI di Kabupaten Pekalongan.
2. Mengetahui hasil estimasi produktivitas padi berdasarkan metode survei ubinan, algoritma NDVI, EVI dan SAVI terhadap data Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten Pekalongan.
3. Mengetahui validitas dari hasil pengolahan estimasi produktivitas padi terhadap data Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten Pekalongan.

I.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di areal persawahan Kabupaten Pekalongan.
2. Citra satelit yang digunakan adalah citra Sentinel-2A Level-1C akuisisi bulan Mei dan Juni tahun 2019 yang memiliki tingkat tutupan awan sedang pada area persawahan dan mewakili fase tanam padi.
3. Perhitungan produktivitas padi didasarkan pada regresi linier berganda hasil pengolahan NDVI, EVI dan SAVI serta tidak dipengaruhi oleh faktor eksternal lain.
4. Pengambilan sampel dilakukan dengan wawancara secara langsung ke petani.
5. Penelitian ini tidak membedakan varietas padi, metode pengairan dan teknik pemupukan.
6. Penelitian ini diterapkan pada pola masa tanam heterogen tanpa memperhatikan jenis atau tipe tanaman padi.
7. Luaran dari penelitian ini adalah model matematis hubungan antara algoritma indeks vegetasi dengan produktivitas padi.

II. Tinjauan Pustaka










II.1 Tanaman Padi dan Fase Tumbuh Padi

Tanaman padi (*Oryza sativa L.*) merupakan tanaman semusim dengan morfologi berbatang bulat dan berongga atau disebut jerami serta memiliki daun

yang memanjang dengan ruas searah batang daun. Pada batang utama dan anakan membentuk rumpun pada fase vegetatif dan membentuk malai pada fase generatif (Zainal 2013).

Menurut *International Paddy Research Institute* (IRRI) Philipina (2015), fase pertumbuhan padi dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu fase vegetatif, reproduktif dan pemasakan. Adapun tahapan pertumbuhan padi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Tahap pertumbuhan padi (IRRI, 2015)

Tahap pertumbuhan	Deskripsi	Gambar
Vegetatif	1 <i>Seedling</i> , penanaman bibit pada lahan yang sudah diolah dan disiapkan.	
	2 <i>Tillering</i> , bibit mulai tumbuh serta daun mulai bertambah banyak.	
	3 <i>Stem Elongation</i> , padi mulai tumbuh tinggi.	
Reproduktif	4 <i>Panicle Initiation to Booting</i> , tahap pembentukan malai atau bunga.	
	5 <i>Heading</i> , malai atau bunga mulai keluar.	
	6 <i>Flowering</i> , mulai muncul benang sari tiap ujung malai sampai munculnya gabah.	
Ripening / Pemasakan	7 <i>Milk Grain Stage</i> , gabah mulai terisi cairan kental berwarna putih susu	
	8 <i>Dough Grain Stage</i> , gabah mulai mengeras lalu menguning.	
	9 <i>Mature Grain Stage</i> , gabah mulai terisi penuh dan menguning hingga akhirnya siap untuk dipanen.	

II.2 Produktivitas Padi

Produktivitas dalam pertanian merupakan hasil persatuan atau satu lahan yang panen dari seluruh luas lahan yang dipanen (Sora, 2017). Produktivitas diperoleh berasal dari penimbangan ubinan berukuran 2,5 m x 2,5 m yang diadopsi dari metode yang dipakai oleh BPS, selanjutnya ekstrapolasikan ke satuan ton/ha. Ubinan dilakukan pada sawah yang akan dipanen dalam setiap segmen (Mubekti, 2008). Nilai produktivitas yang digunakan dalam perhitungan produksi adalah produktivitas dari gabah kering giling (GKG). Nilai GKG sebesar 86% dari produktivitas gabah kering panen (GKP) yang merupakan nilai ubinan rata-rata dikalikan dengan faktor pengali sebesar 16. Padi pada sampel tersebut kemudian dipotong, dirontokkan dan ditimbang. Perhitungan nilai GKP dan GKG dapat dilihat pada rumus 1 dan 2 (Said dkk., 2015)

$$GKP = Ur \times 16 \dots\dots\dots (1)$$

$$GKG = GKP \times 0,86 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

GKP = Gabah kering panen (kw/ha)

GKG = Gabah kering giling (kw/ha)

Ur = Nilai ubinan rata-rata (kg/m²)

II.3 Survei Ubinan

Ubinan adalah survei yang bertujuan untuk mengetahui produktivitas (hasil per hektar) tanaman. Saat ini, tanaman yang dapat diukur produktivitasnya melalui ubinan baru terbatas pada komoditas padi, jagung, kedelai, ubi kayu, kacang tanah dan ubi jalar (BPS Kab. Rembang, 2017). Survei ubinan dilakukan secara rutin setiap tahun dalam tiga periode, yaitu *subround*/ SR I (periode Januari – April), SR II (periode Mei – Agustus) dan SR III (periode September – Desember). Pemutakhiran rumah tangga dan pendaftaran petak di setiap bidang lahan untuk suatu *subround* dilakukan pada bulan terakhir *subround* sebelumnya (BPS dan Kementerian Pertanian 2015).

II.4 Algoritma NDVI

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) merupakan indeks kehijauan vegetasi atau aktivitas fotosintesis vegetasi dan salah satu indeks vegetasi yang paling sering digunakan (Maksum, 2015). Rentang NDVI berkisar antara -1 sampai +1. Rumus NDVI dapat dilihat pada rumus 3.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

NDVI = *Normalized Difference Vegetation Index*

ρ_{NIR} = Reflektan kanal inframerah dekat

ρ_{Red} = Reflektan kanal merah

Tabel 2 Rentang nilai NDVI fase pertumbuhan padi (Mufti, 2018)

No.	Fase Tumbuh	Nilai Pikel	Umur Tanam (HST)	ΔVI
1.	Persiapan	<0,1744	<0	<0
2.	Vegetatif	0,1744 – 0,7834	0 – 35	>0
3.	Generatif	0,7834 – 0,1929	35 – 100	<0
4.	Bera	0,1441 – 0,2767	>100	>0

Mufti (2018) melakukan penelitian mengenai identifikasi fase pertumbuhan padi yang ada di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat dengan menggunakan citra Sentinel-2. Berdasarkan hasil penelitiannya diketahui bahwa setiap fase memiliki perentangan nilai NDVI masing-masing. Adapun perentangan nilai NDVI untuk menyatakan fase pertumbuhan padi dapat dilihat pada Tabel 2.

II.5 Algoritma EVI

EVI (*Enhanchment Vegetation Index*) merupakan pengembangan dari NDVI dengan memanfaatkan kanal biru untuk mengkoreksi nilai NDVI yang berkurang akibat kandungan aerosol atmosfer dan koreksi latar belakang kanopi dengan mengalikan faktor L (kondisi tanah/lahan) untuk mempertajam nilai NDVI (Dirgahayu, 2005). Persamaan EVI dapat dilihat pada rumus 4.

$$EVI = \frac{2,5 \times (\rho NIR - \rho Red)}{(1 + \rho NIR + (6 \times \rho Red) - (7,5 \times \rho Blue))} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- EVI = *Enhancement Vegetation Index*
- ρNIR = Reflektan kanal infra merah dekat
- ρRed = Reflektan kanal merah
- $\rho Blue$ = Reflektan kanal biru

Perentangan nilai EVI untuk fase tumbuh padi yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Mufti (2018) pada citra Sentinel-2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Rentang nilai EVI fase pertumbuhan padi (Mufti, 2018)

No.	Fase Tumbuh	Nilai Pikel	Umur Tanam (HST)	ΔVI
1.	Persiapan	<0,0787	<0	<0
2.	Vegetatif	0,0787 – 0,5320	0 – 35	>0
3.	Generatif	0,5320 – 0,1467	35 – 100	<0
4.	Bera	0,0787 – 0,1847	>100	>0

II.6 Algoritma SAVI

Huete dkk. (1988) mengembangkan *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) untuk mengurangi efek variasi latar belakang tanah dengan menggunakan faktor penyesuaian tanah (L). Nilai optimal L=0,5 untuk variasi kerapatan vegetasi (Huete, 1988). Rumus SAVI dapat dilihat pada rumus 5.

$$SAVI = \frac{1,5 \times (\rho NIR - \rho Red)}{(\rho NIR + \rho Red + 0,5)} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

- SAVI = *Soil-Adjusted Vegetation Index*
- ρNIR = Reflektan kanal infra merah dekat
- ρRed = Reflektan kanal merah

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mufti (2018) setiap fase pertumbuhan padi memiliki perentangan nilai SAVI masing-masing, seperti halnya NDVI. Nilai perentangan SAVI pada fase pertumbuhan padi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Rentang nilai SAVI fase pertumbuhan padi (Mufti, 2018)

No.	Fase Tumbuh	Nilai Pikel	Umur Tanam (HST)	ΔVI
1.	Persiapan	<0,0761	<0	<0
2.	Vegetatif	0,0761 – 0,4688	0 – 35	>0
3.	Generatif	0,4688 – 0,1182	35 – 100	<0
4.	Bera	0,0714 – 0,1572	>100	>0

II.7 Regresi Linier Berganda

Analisis regresi berganda merupakan analisis hubungan sebab akibat antara variabel independen dengan variabel dependen, yang dapat digambarkan dalam bentuk persamaan linier. Persamaan linier adalah persamaan yang secara matematis berbentuk garis lurus. Di dalam persamaan linier terdapat konstanta dan konstanta yang dikalikan dengan variabel tunggal (Sulistiyorini, 2017). Persamaan regresi linier berganda dapat dilihat pada rumus 6.

$$Y = b_0 \pm b_1 X_1 \pm b_2 X_2 \pm b_3 X_3 \pm \dots \pm e \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

- Y = variabel dependen
- X = variabel independen
- b_0 = *intercept*
- $b_{1,2,3}$ = *slope*
- e = *error term* (variabel pengganggu) atau residual

II.8 Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik merupakan analisis yang dilakukan untuk menilai apakah di dalam sebuah regresi linier *Ordinary Least Square* (OLS) terdapat masalah-masalah asumsi klasik. Uji asumsi klasik antara lain:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel dependen, variabel independen atau keduanya mempunyai distribusi normal ataukah tidak. Model regresi yang baik adalah distribusi datanya normal atau mendekati normal (Sulistiyorini, 2017).

2. Uji Heterokedastisitas

Uji heterokedastisitas bertujuan untuk menguji apakah model regresi terjadi atau terdapat ketidaksamaan varians dari residual dari satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Jika varians dari nilai residual dari satu pengamatan ke pengamatan yang lain tetap, maka disebut dengan Homokedastisitas. Sebaliknya, apabila varians berbeda dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya, maka disebut dengan Heterokedastisitas (Ghozali, 2018).

3. Uji Multikolinieritas

Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas (independen). Model regresi yang baik seharusnya tidak terjadi korelasi di antara variabel independen. Jika variabel independen saling berkorelasi, maka variabel-variabel ini tidak ortogonal. Variabel ortogonal adalah variabel independen sama dengan nol (Ghozali, 2018).

II.9 Uji Kelayakan Model

Uji kelayakan model digunakan untuk mengukur ketepatan fungsi dari sebuah regresi dalam menaksir nilai aktual. Adapun uji kelayakan model antara lain:

1. Uji F

Uji F ini merupakan uji yang digunakan untuk menilai apakah model yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh independen terhadap variabel dependen, sebagai suatu model yang utuh, yang diharapkan terhadap model untuk memecahkan masalah penelitian.

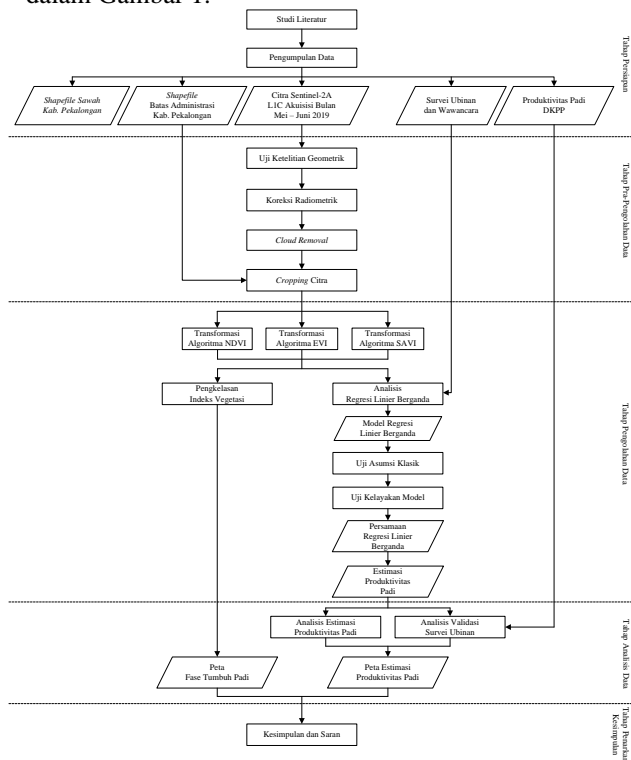
2. Uji T

Uji T merupakan uji kelayakan model yang menguji apakah masing-masing atau secara individu variabel independen yang terdapat di dalam model memiliki signifikansi pengaruh atau memiliki kemampuan dalam memprediksi variabel dependen.

III. Metodologi Penelitian

III.1 Pengolahan Data

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

III.2 Alat dan Data Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Survei Lapangan
 - a. GPS *Handheld* Garmin Oregon 650
2. Perangkat keras (*hardware*)
 - a. Laptop Asus X455LA dengan spesifikasi Intel Core i3-3217U, RAM 4GB, 64-bit, OS Windows 10 Pro.
3. Perangkat lunak (*software*)
 - a. ArcGIS 10.3
 - b. ENVI 5.1
 - c. QGIS Desktop Las Palmas 2.18.16
 - d. Microsoft Word 2013
 - e. Microsoft Excel 2013
 - f. IBM SPSS Statistics 24

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Citra Sentinel-2A Level-1C akuisisi bulan Mei dan Juni 2019 yang diunduh melalui <https://scihub.copernicus.eu/>.
2. Citra SPOT 7 akuisisi bulan Mei 2018 (Sumber: LAPAN).
3. *Shapefile* batas administrasi Kabupaten Pekalongan skala 1:25.000 (Sumber: BAPPEDA Litbang Kabupaten Pekalongan).
4. *Shapefile* sawah Kabupaten Pekalongan skala 1:25.000 (Sumber: BPN Kabupaten Pekalongan).

5. Data produktivitas padi Kabupaten Pekalongan tahun 2018 (Sumber: DKPP Kabupaten Pekalongan).
6. Data survei lapangan dan wawancara.

III.3 Alur Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

1. Tahap persiapan

Studi literatur dan pengumpulan data penelitian.
2. Tahap pra pengolahan data

Tahap pra pengolahan terdiri dari:

 - a. Uji ketelitian geometrik citra Sentinel-2.
 - b. Koreksi radiometrik dengan menggunakan *plugin* QGIS Las Palmas, yakni *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*.
 - c. *Cloud removal/* penghilangan awan.
 - d. *Cropping* citra.
3. Tahap pengolahan data
 - a. Transformasi NDVI, EVI dan SAVI.
 - b. Visualisasi fase tumbuh padi berdasarkan transformasi NDVI, EVI dan SAVI.
 - c. Pembuatan model regresi linier berganda untuk estimasi produktivitas padi.
4. Tahap analisis data
 - a. Analisis pola persebaran indeks vegetasi berdasarkan fase tumbuh padi.
 - b. Analisis hasil estimasi produktivitas padi dari model yang telah dibentuk.
 - c. Analisis validasi hasil estimasi produktivitas padi dengan data DKPP.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Uji Ketelitian Geometrik

Berdasarkan *User Guides Sentinel Online* (2013) citra Sentinel-2A Level-1C pada dasarnya telah terkoreksi geometrik sehingga pada penelitian ini hanya dilakukan uji ketelitian geometrik dengan menggunakan perhitungan *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Circular Error 90 (CE90)*. Proses uji ketelitian geometrik citra Sentinel-2 dilakukan pada aplikasi ENVI dengan membandingkan antara koordinat yang ada pada citra referensi (*base*) dan koordinat citra yang diuji. Pada penelitian ini referensi acuan yang digunakan adalah citra SPOT-7. Hasil RMSE dan CE90 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji ketelitian geometrik

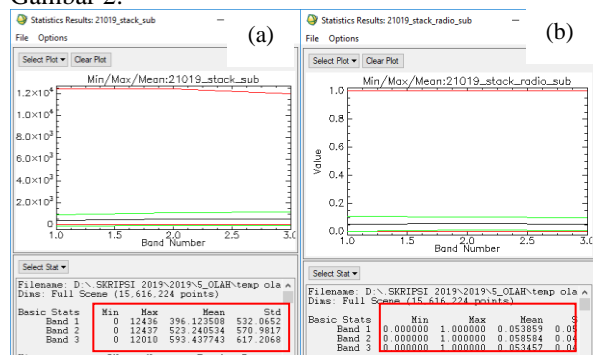
No.	Koordinat Cek (UTM)		Koordinat Citra (UTM)		(XRBI-Xcitra) ² + (YRBI-Ycitra) ² (m)
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
1	344085,00	9240616,20	344086,60	9240617,80	5,12
2	337005,00	9231400,00	337006,60	9231398,70	4,25
3	335785,00	9223217,50	335782,80	9223217,00	5,09
...
29	347210,90	9238841,80	347208,40	9238842,30	6,50
30	336298,00	9227321,00	336299,20	9227322,60	4,00
Total					105,25
Rata-rata					3,51
RMSE_r					1,87
CE90					2,84

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa RMSE horizontal (RMSE_r) yang diperoleh sebesar 1,87 m. Sehingga berdasarkan PERKA BIG No. 6 Tahun 2018

diperoleh nilai CE90 sebesar 2,84 m. Dengan demikian nilai ketelitian horizontal tersebut masuk ke dalam kategori standar peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) pada skala 1:5.000 kelas 2 yang berarti bahwa citra Sentinel-2 dapat digunakan sebagai peta dasar dengan skala maksimal 1:5.000 kelas 2.

IV.2 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengubah nilai DN (*Digital Number*) menjadi *TOA Reflectance*. Koreksi radiometrik hanya dilakukan pada kanal yang digunakan dalam penelitian, yakni kanal merah, hijau, biru dan kanal inframerah dekat. Hasil koreksi radiometrik akan menghasilkan nilai *TOA Reflectance* antara 0 hingga 1. Nilai 0 biasanya mewakili objek perairan dan nilai 1 biasanya mewakili objek vegetasi. Histogram hasil koreksi radiometrik dapat dilihat pada Gambar 2.

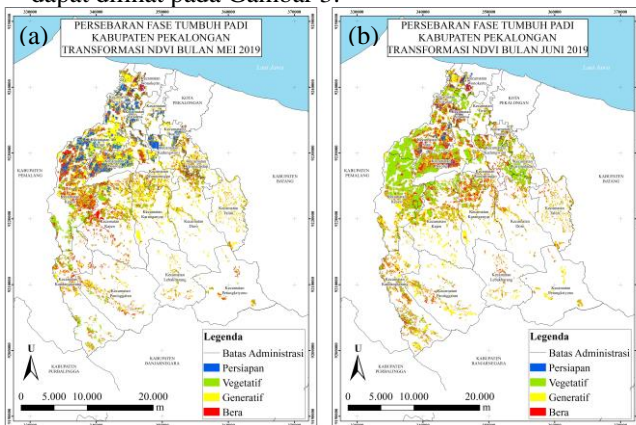


Gambar 2 Histogram (a) sebelum dan (b) sesudah koreksi radiometrik

IV.3 Pengolahan Indeks Vegetasi

IV.3.1 Peta Fase Tumbuh Padi Transformasi NDVI

Peta fase tumbuh padi transformasi NDVI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Peta fase tumbuh padi transformasi NDVI bulan (a) Mei dan (b) Juni tahun 2019

Gambar 3 menunjukkan bahwa fase tumbuh padi pada bulan Mei hingga Juni 2019 tidak homogen. Hal ini dikarenakan masa tanam padi di Kabupaten Pekalongan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil visualisasi fase tumbuh padi menggunakan algoritma NDVI diperoleh luasan dari masing-masing fase yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui bahwa pada bulan Mei 2019 fase yang mendominasi adalah generatif dengan luas 10.099,40 ha (44,9%) dari luas

total area persawahan. Sementara pada bulan Juni 2019, fase yang paling dominan adalah fase vegetatif dengan luas 9.346,87 ha (41,6%) dari luas total area persawahan.

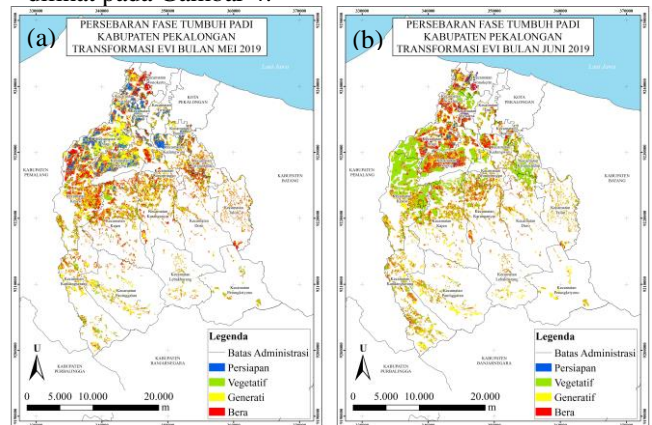
Tabel 6 Luas fase tumbuh padi transformasi NDVI

Bulan	Fase	Luas (ha)	Persentase (%)
Mei 2019	Persiapan	3.123,50	13,9
	Vegetatif	3.237,39	14,4
	Generatif	10.099,40	44,9
	Bera	5.204,13	23,2
	Awan	810,53	3,6
	Total	22.474,95	100
Juni 2019	Persiapan	665,85	3,0
	Vegetatif	9.346,87	41,6
	Generatif	6.569,80	29,2
	Bera	5.736,37	25,5
	Awan	156,17	0,7
	Total	22.475,06	100

Keterangan: Fase dominan

IV.3.2 Peta Fase Tumbuh Padi Transformasi EVI

Peta fase tumbuh padi transformasi EVI dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Peta fase pertumbuhan padi transformasi EVI bulan (a) Mei dan (b) Juni tahun 2019

Gambar 4 menunjukkan bahwa fase tumbuh padi pada bulan Mei hingga Juni 2019 tidak homogen. Hal ini dikarenakan masa tanam padi di Kabupaten Pekalongan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil visualisasi fase tumbuh padi menggunakan algoritma EVI diperoleh luasan dari masing-masing fase yang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Luas fase tumbuh padi transformasi EVI

Bulan	Fase	Luas (ha)	Persentase (%)
Mei 2019	Persiapan	2.679,99	11,9
	Vegetatif	2.580,36	11,5
	Generatif	9.449,78	42,0
	Bera	6.946,9	30,9
	Awan	817,92	3,6
	Total	22.474,95	100
Juni 2019	Persiapan	524,36	2,3
	Vegetatif	8.775,36	39,0
	Generatif	6.597,92	29,4
	Bera	6.416,97	28,6
	Awan	160,45	0,7
	Total	22.475,06	100

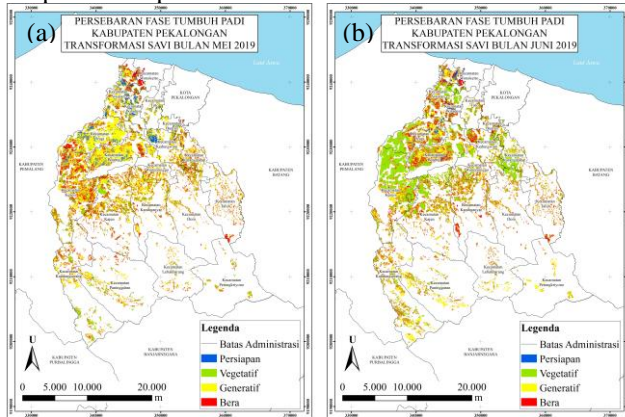
Keterangan: Fase dominan

Berdasarkan Tabel 7, dapat diketahui bahwa pada bulan Mei 2019 fase yang mendominasi adalah generatif dengan luas 9.449,78 ha (42%) dari luas total

areal persawahan. Sementara pada bulan Juni 2019, fase yang paling dominan adalah fase vegetatif dengan luas 8.775,36 ha (39%) dari luas total areal persawahan.

IV.3.3 Peta Fase Tumbuh Padi Transformasi SAVI

Peta fase tumbuh padi transformasi SAVI dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Peta fase tumbuh padi transformasi SAVI bulan (a) Mei dan (b) Juni tahun 2019

Gambar 5 menunjukkan bahwa fase tumbuh padi pada bulan Mei hingga Juni 2019 tidak homogen. Hal ini dikarenakan masa tanam padi di Kabupaten Pekalongan yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil visualisasi fase tumbuh padi menggunakan algoritma EVI diperoleh luasan dari masing-masing fase yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Luas fase tumbuh padi transformasi SAVI

Bulan	Fase	Luas (ha)	Persentase (%)
Mei 2019	Persiapan	1.375,63	6,1
	Vegetatif	2.840,11	12,6
	Generatif	11.505,56	51,2
	Bera	5.933,83	26,4
	Awan	817,92	3,6
	Total	22.473,05	100
Juni 2019	Persiapan	531,88	2,4
	Vegetatif	8.871,19	39,5
	Generatif	7.012,54	31,2
	Bera	5.898,93	26,2
	Awan	160,45	0,7
	Total	22.474,99	100

Keterangan: Fase dominan

Berdasarkan Tabel 8, dapat diketahui bahwa pada bulan Mei 2019 fase yang mendominasi adalah generatif dengan luas 11.505,56 ha (51,2%) dari luas total areal persawahan. Sementara pada bulan Juni 2019, fase yang paling dominan adalah fase vegetatif dengan luas 8.871,19 ha (39,5%) dari luas total areal persawahan.

IV.4 Model Regresi Linier Berganda

Model regresi linier berganda diperoleh setelah dilakukan uji asumsi klasik dan uji kelayakan model. Berikut adalah hasil persamaan regresi linier berganda untuk tipe indeks vegetasi:

$$NDVI \quad \begin{cases} Y = 51,358 + (-4,828)X1 + (-23,458)X2 \\ \quad \quad \quad + (19,608)X3 \\ R^2 = 0,332 \end{cases}$$

$$EVI \quad \begin{cases} Y = 50,131 + (-0,413)X1 + (-38,058)X2 \\ \quad \quad \quad + (23,976)X3 \\ R^2 = 0,269 \end{cases}$$

$$SAVI \quad \begin{cases} Y = 51,004 + (-1,198)X1 + (-43,497)X2 \\ \quad \quad \quad + (29,221)X3 \\ R^2 = 0,283 \end{cases}$$

Keterangan:

- Y = Nilai produktivitas padi
- X1 = Nilai transformasi indeks vegetasi waktu 1
- X2 = Nilai transformasi indeks vegetasi waktu 2
- X3 = Nilai transformasi indeks vegetasi waktu 3

Berdasarkan persamaan regresi linier berganda tersebut, dapat diketahui bahwa koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari regresi produktivitas padi dengan indeks vegetasi dapat dikatakan sangat kecil. Koefisien determinasi menjelaskan pengaruh antara variabel bebas dengan variabel terikatnya. Koefisien determinasi tersebut dikonversi menjadi persen. Sehingga dapat dikatakan bahwa variabel NDVI memiliki pengaruh sebesar 33,2% terhadap variabel produktivitas padi, variabel EVI mempunyai pengaruh sebesar 26,9% terhadap variabel produktivitas padi dan variabel SAVI memiliki pengaruh sebesar 28,3% terhadap produktivitas padi. Sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak dimasukkan dalam analisis regresi.

Koefisien determinasi yang kecil menyebabkan model yang dibuat kurang akurat untuk mengestimasi produktivitas padi sesuai kenyataan seperti di lapangan. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor lain. Faktor lain yang dapat mempengaruhi tingkat produktivitas padi antara lain tingkat kesehatan dari tanaman padi, sistem pengairan, jenis padi, hama, sistem penanaman padi serta pemupukan. Selain faktor lain tersebut, terdapat kemungkinan yang dapat mempengaruhi lemahnya hubungan antara produktivitas padi dengan transformasi indeks vegetasi yakni kurang akuratnya estimasi produktivitas padi hasil survei lapangan karena petani yang menjadi narasumber hanya memberikan keterangan perkiraan produksi yang dihasilkan, bukan produksi yang sebenarnya.

IV.5 Hasil Estimasi Produktivitas Padi

Hasil dari model regresi linier berganda diaplikasi pada citra tahun 2019 bulan Mei hingga Juni dengan tujuan untuk mengetahui nilai produktivitas padi yang ada di Kabupaten Pekalongan pada bulan tersebut. Hasil konversi citra Sentinel-2A menjadi produktivitas dari masing-masing indeks vegetasi akan diperoleh nilai *minimum*, *maximum* dan *mean* dari masing-masing persamaan. Adapun hasil penerapan citra pada masing-masing transformasi indeks vegetasi dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Hasil pengolahan produktivitas padi

Indeks Vegetasi	Min. (kw/ha)	Max. (kw/ha)	Mean (kw/ha)	STDev (kw/ha)
NDVI	29,563	65,291	48,387	4,575
EVI	22,584	63,980	47,940	4,940
SAVI	26,098	75,148	47,969	4,624

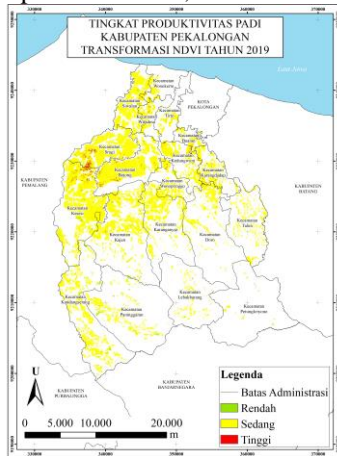
Berdasarkan Tabel 9 dapat dibuat interval kelas untuk tingkatan produktivitas yang diolah. Pada

penelitian ini tingkat produktivitas padi dibuat ke dalam 3 kelas, yakni kelas rendah, sedang dan tinggi. Interval kelas tingkat produktivitas padi dapat dilihat pada Tabel 10.

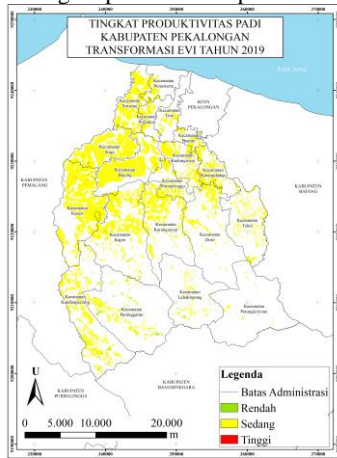
Tabel 10 Interval kelas tingkat produktivitas padi

Tingkat Produktivitas Padi	Interval (kw/ha)
Rendah	22,6 – 40,1
Sedang	40,2 – 57,6
Tinggi	57,7 – 75,1

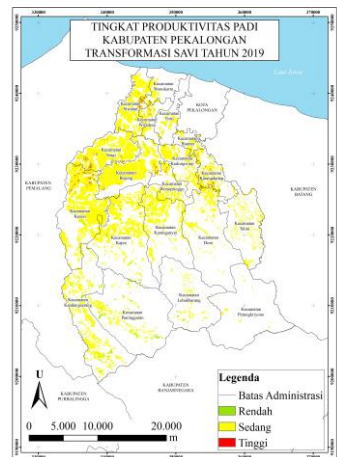
Hasil visualisasi tingkat produktivitas padi berdasarkan hasil pengolahan indeks vegetasi seperti yang terlihat pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 6 Peta tingkat produktivitas padi transformasi NDVI



Gambar 7 Peta tingkat produktivitas padi transformasi EVI



Gambar 8 Peta tingkat produktivitas padi transformasi SAVI

Hasil visualisasi setiap transformasi menghasilkan sebaran tingkat produktivitas yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan setiap hasil estimasi produktivitas padi dari transformasi NDVI, EVI dan SAVI mempunyai nilai *minimum* dan *maximum* yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi pembuatan interval untuk setiap kelas produktivitas padi.

Pengolahan produktivitas padi menggunakan transformasi NDVI menghasilkan estimasi produktivitas padi dengan luas kelas rendah 315,42 ha (1,46%), kelas sedang 21.058,92 ha (97,24%) dan kelas tinggi seluas 283,04 ha (1,31%). Hasil pengolahan produktivitas padi menggunakan transformasi EVI menghasilkan estimasi untuk kelas rendah seluas 521,40 ha (2,41%), kelas sedang seluas 21.077,43 ha (97,32%) dan kelas tinggi 58,27 ha (0,27%). Serta untuk pengolahan produktivitas padi menggunakan transformasi SAVI menghasilkan estimasi seluas 586,09 ha (2,71%), kelas sedang seluas 20.767,09 (95,89%) dan kelas tinggi seluas 303,91 ha (1,40%). Sehingga dapat diketahui dari hasil estimasi ketiga indeks vegetasi, kelas tingkat produktivitas padi yang paling dominan adalah kelas tinggi.

IV.6 Analisis Validasi Model Regresi

Hasil estimasi produktivitas padi yang telah diperoleh dari model regresi linier berganda tiap transformasi indeks vegetasi baik NDVI, EVI dan SAVI, kemudian dilakukan validasi terhadap data produktivitas padi yang diperoleh dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kabupaten Pekalongan. Hasil validasi estimasi produktivitas padi dari masing-masing indeks vegetasi terhadap data DKPP dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Validasi hasil estimasi produktivitas padi

No	Kecamatan	Produktivitas Padi (kw/ha)			
		DKPP	NDVI	EVI	SAVI
1	Kandangserang	49,11	45,82	45,23	45,04
2	Paninggaran	46,98	43,98	43,55	43,46
3	Lebakbarang	50,05	47,06	45,85	46,42
4	Petungkriyono	45,65	52,02	49,83	50,73
5	Talun	51,62	44,65	44,03	44,62
6	Doro	52,77	46,22	46,34	46,95
7	Karanganyar	50,74	45,67	45,95	46,09
8	Kajen	53,11	46,31	46,61	46,84
9	Kesesi	53,59	49,68	49,79	49,88
...
17	Sragi	54,45	50,58	50,10	49,92
18	Wiradesa	53,01	50,39	50,08	50,30
19	Wonokerto	52,12	49,49	49,61	50,29
Rata-Rata		51,72	48,46	4,33	47,98
Total		982,71	920,74	908,86	911,53

Keterangan: ■ Produktivitas tertinggi
■ Produktivitas terendah

Berdasarkan Tabel 11, dapat dilihat bahwa hasil estimasi produktivitas padi menggunakan NDVI, EVI dan SAVI memiliki perbedaan dalam jumlah serta hasil pengolahan relatif lebih kecil dibandingkan dengan produktivitas padi yang dikeluarkan oleh DKPP. Hasil estimasi produktivitas padi menggunakan NDVI menghasilkan jumlah estimasi sebesar 920,74 kw/ha, EVI menghasilkan estimasi sebesar 908,86

kw/ha dan SAVI menghasilkan estimasi sebesar 911,53 kw/ha. Penyimpangan hasil analisis dari tiap indeks vegetasi rata-rata <10% dengan selisih hasil rata-rata antara 3,94 kw/ha sampai 4,33 kw/ha atau antara 7,7% - 8,4%. Selisih hasil antara estimasi menggunakan ketiga metode dengan hasil yang dikeluarkan oleh DKPP cukup besar sehingga hasil estimasi dapat dikatakan kurang akurat. Perbedaan yang cukup besar ini kemungkinan disebabkan karena hasil produksi yang disampaikan oleh para petani yang menjadi sampel kurang tepat atau hasil produksi yang disebutkan adalah hasil pada saat panen bagus dan dalam bentuk perkiraan sehingga kurang mencerminkan hasil yang sesungguhnya.

RMSE terhadap 19 kecamatan yang dijadikan sampel produktivitas padi setiap indeks vegetasi memperlihatkan hasil yang berbeda-beda. RMSE ini digunakan untuk melihat tingkat kecocokan atau akurasi hasil estimasi menggunakan model regresi linier berganda pada masing-masing indeks vegetasi dengan data dari dinas. Adapun besaran RMSE yang diperoleh adalah 4,24 kw/ha untuk variabel NDVI, 4,54 kw/ha untuk variabel EVI dan 4,47 kw/ha untuk variabel SAVI. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa dari 3 model estimasi produktivitas padi yang telah diperoleh, hasil estimasi yang hampir mendekati nilai produktivitas yang dikeluarkan oleh Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian adalah model dengan variabel bebas NDVI.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil visualisasi fase tumbuh padi berdasarkan transformasi NDVI, EVI dan SAVI menunjukkan bahwa pola sebaran nilai indeks vegetasi di Kabupaten Pekalongan adalah heterogen. Pola heterogen tersebut dapat dilihat dari fase tumbuh padi yang terdapat di Kabupaten Pekalongan pada satu waktu berbeda-beda yang terdiri dari fase persiapan, vegetatif, generatif dan bera. Hasil dari ketiga indeks vegetasi menunjukkan dominasi fase yang hampir sama pada bulan Mei dan Juni 2019. Pada bulan Mei 2019 fase yang mendominasi adalah fase generatif dengan luasan area masing-masing transformasi NDVI, EVI dan SAVI secara berturut-turut yaitu 10.099,40 ha (44,9%) dari luas total areal persawahan, 9.449,78 (42%) dari luas total areal persawahan dan 11.505,56 ha (51,2%) dari luas total areal persawahan. Sementara untuk bulan Juni 2019 fase yang mendominasi adalah fase vegetatif dengan luasan area masing-masing transformasi NDVI, EVI dan SAVI secara berturut-turut yaitu 9.346,87 ha (41,6%), 8.871,19 ha (39,5%) dan 8.775,36 ha (39%).
2. Terkait hasil estimasi produktivitas padi dari model variabel NDVI menghasilkan nilai

minimum 29,563 kw/ha, *maximum* 65,291 kw/ha dan *mean* 48,387 kw/ha. Variabel EVI menghasilkan nilai *minimum* 22,584 kw/ha, *maximum* 63,980 kw/ha dan *mean* 47,940 kw/ha. Variabel SAVI menghasilkan nilai *minimum* 26,098 kw/ha, *maximum* 75,148 kw/ha dan *mean* 47,969 kw/ha. Berdasarkan hasil regresi linier berganda menggunakan variabel terikat produktivitas padi dan variabel bebasnya adalah transformasi NDVI, EVI dan SAVI menghasilkan model persamaan $Y = 51,358 + (-4,828)X_1 + (-23,458)X_2 + (19,608)X_3$ untuk variabel bebas NDVI dengan koefisien determinasi sebesar 0,332, $Y = 50,131 + (-0,413)X_1 + (-38,058)X_2 + (23,976)X_3$ untuk variabel bebas EVI dengan koefisien determinasi sebesar 0,269 dan $Y = 51,004 + (-1,198)X_1 + (-43,497)X_2 + (29,221)X_3$ untuk variabel bebas SAVI dengan koefisien determinasi sebesar 0,283. Dapat diketahui bahwa variabel NDVI hanya mempengaruhi nilai produktivitas padi sebesar 33,2%, variabel EVI mempengaruhi nilai produktivitas padi sebesar 26,9% dan variabel SAVI mempengaruhi nilai produktivitas padi sebesar 28,3%.

3. Hasil yang diperoleh dari pemodelan estimasi produktivitas padi menggunakan variabel NDVI, EVI dan SAVI mempunyai selisih hasil gabah kering panen terhadap data dari DKPP. Ketidaksesuaian hasil estimasi setiap indeks vegetasi didasarkan pada perhitungan RMSE. Adapun besaran RMSE yang diperoleh adalah 4,24 kw/ha untuk variabel NDVI, 4,54 kw/ha untuk variabel EVI dan 4,47 kw/ha untuk variabel SAVI. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa dari 3 model estimasi produktivitas padi yang telah diperoleh, hasil estimasi yang hampir mendekati hasil produktivitas padi yang dikeluarkan oleh DKPP adalah model dengan variabel NDVI dibandingkan dengan variabel EVI dan SAVI.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian tugas akhir ini, penulis memberikan beberapa saran yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Sebaiknya survei ubinan dilakukan pada saat panen dan menggunakan peralatan serta prosedur yang benar agar diperoleh nilai ubinan yang lebih akurat.
2. Pengambilan titik sampel untuk estimasi produktivitas padi sebaiknya dilakukan pada saat tanaman padi berada di fase 3, 4, 5 dan 6 karena pada fase ini tanaman padi memiliki tingkat kehijauan yang tinggi.
3. Penambahan variabel lain pada proses pembuatan model regresi, seperti jenis padi, jenis pengairan dan usia tanam.

4. Titik sampel yang digunakan sebaiknya dapat mewakili ukuran 3 piksel x 3 piksel untuk citra Sentinel-2 atau sekitar 1 ha agar tidak terjadi bauran nilai reflektan dengan objek lain.
5. Melakukan pengecekan terhadap ketersediaan data citra satelit pada area studi yang akan diteliti serta mempertimbangkan adanya tutupan awan yang dapat mengganggu pantulan reflektan objek.

DAFTAR PUSTAKA

Pustaka dari buku dan jurnal penelitian :

- BIG. 2018. PERKA BIG NO. 6 TAHUN 2018. Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- BPS dan Kementerian Pertanian. 2015. Buku 2 Pedoman Pengumpulan Data Survei Ubinan Tanaman Pangan 2015. Jakarta: BPS dan Kementerian Pertanian.
- BPS Kab. Pekalongan. 2019. Kabupaten Pekalongan Dalam Angka 2019. BPS Kabupaten Pekalongan.
- Dirgahayu, D. 2005. Model Pertumbuhan Tanaman Padi Menggunakan Data MODIS Untuk Pendugaan Umur Padi Sawah. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV, 14–15.
- Dirgahayu, Dede, I Made Parsa, Silvia, Sri Harini, Soko Budoyo, Krisna Indriawan, Muchlisin Arief, dkk. 2015. Litbang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Pertumbuhan Padi di Lahan Sawah (Studi Kasus Pulau Kalimantan. Jakarta: Litbang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Pertumbuhan Tanaman Padi di Lahan Sawah.
- Ghozali, Imam. 2018. Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 25. IX. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Huete, A.R. 1988. *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment* 25 (3): 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X).
- Mubekti. 2008. Spasial Statistik Untuk Estimasi dan Peramalan Produksi Pertanian Studi Kasus: Kabupaten Indramayu dan Subang. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 9 (3).
- Mufti, Besyandi. 2018. Citra Sentinel-2 untuk Identifikasi Fase Pertumbuhan Padi dengan Pendekatan Indeks Vegetasi di Kabupaten Cianjur. *Institut Pertanian Bogor*, 77.
- Said, Husen Ibnu, Sawitri Subiyanto, dan Bambang Darmo Yuwono. 2015. Analisis Produksi Padi Dengan Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis di Kota Pekalongan. *Jurnal Geodesi Undip* 4 (1): 1–8.
- Sulistiyorini, Utami Tri. 2017. Metode Penelitian Analisis Kasual - Regresi. Semarang:

Program Studi Analisis Keuangan, Politeknik Negeri Semarang.

- Zainal, Ida Rizkayanti. 2013. Evaluasi Kesesuaian Lahan Kualitatif dan Kuantitatif Tanaman Padi Tadah Hujan (*Oryza Sativa L.*) Pada Lahan Kelmpok Tani Karya Subur di Desa Pesawaran Indah Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran. UNILA.

Pustaka dari internet :

- BPS Kab. Rembang. 2017. Survei Ubinan *Subround 3 Tahun 2017* BPS Kabupaten Rembang. <https://rembangkab.bps.go.id/news/2017/10/31/140/survei-ubinan-subround-3-tahun-2017-bps-kabupaten-rembang.html>.
- ESA. 2013. *User Guides - Sentinel-2 MSI - Product Types - Sentinel Online*. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>.
- . 2018. *Sentinel-2 - Missions - Sentinel Online*. 2018. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>.
- IRRI. 2015. *Growth Stages of the Rice Plant*. http://www.knowledgebank.irri.org/ericeproduction/0.2._Growth_stages_of_the_rice_plant.htm.
- Maksum, Z U. 2015. Klasifikasi Indeks Vegetasi. <https://geomusa.com/2015/10/enhanced-vegetation-indexevi/>.
- Sora. 2017. Perbedaan dan Cara Menghitung Produksi dan Produktivitas Dalam Pertanian. *Sampul Pertanian* (blog). 2017. <https://www.sampulpertanian.com/2017/03/perbedaan-dan-cara-menghitung-produksi.html>.