



# ANALISIS PRODUKTIVITAS PADI BERDASARKAN INDEKS KEKERINGAN (NDWI DAN NDDI) LAHAN SAWAH MENGGUNAKAN DATA CITRA SENTINEL-2A DI KECAMATAN AMBULU

**Bowo Eko Cahyono\*, Rahmadin Rahagian dan Agung Thahjo Nugroho**

<sup>1</sup>Physics Department of Jember University, Jember, Indonesia

\*[bowo\\_ec.fmipa@unej.ac.id](mailto:bowo_ec.fmipa@unej.ac.id)

Received 2023-01-20, Revised 2023-03-09, Accepted 2023-04-02

Available Online 2023-04-06, Published Regularly April 2023

## ABSTRACT

Rice constitutes a staple food source for most of the world's population, including the people of Indonesia. East Java Province has become the largest contributor to the rice production in Indonesia. Ambulu District of Jember Regency is one of the districts in East Java contributing to a large number of rice production. However, in the last decade, the rice production from Ambulu continued to decrease due mainly to the drought level of agricultural land. The current research was conducted to explore the relationship between drought index values (NDWI and NDDI) and the rice productivity in Ambulu District. This study applied remote sensing methods and the data were collected by using Sentinel-2A satellite during the period, 2016 - 2020. The results showed that the NDWI value had a positive linear correlation to the rice productivity with a coefficient of linearity, 61.96%. On the other hand, the NDDI value contributed a negative linear correlation to the rice productivity in Ambulu District in the last 5 years with a linearity level of 68.68%. This suggests that there is a relationship between NDDI values and the level of rice productivity. That is, the drought in Ambulu District in the period, 2016-2020 had an effect on decreasing rice production by 27.24%.

Keywords: Remote sensing; Sentinel; NDWI; NDDI; rice productivity.

## ABSTRAK

Padi menjadi sumber makanan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia, terutama di Indonesia. Provinsi Jawa Timur merupakan penyumbang produksi padi terbesar di Indonesia. Salah satu kecamatan di Jawa Timur yang menyumbang produksi padi besar adalah Kecamatan Ambulu Kabupaten Jember, namun beberapa tahun terakhir mengalami penurunan produktivitas padi. Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil produksi padi adalah tingkat kekeringan lahan pertanian. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan nilai indeks kekeringan (NDWI dan NDDI) terhadap produktivitas padi di Kecamatan Ambulu dengan metode penginderaan jarak jauh menggunakan data satelit Sentinel-2A dari tahun 2016 sampai 2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai NDWI berkorelasi linier positif terhadap produktivitas padi dengan koefisien kelinieran 61,96%. Sebaliknya nilai NDDI berkorelasi linier negatif terhadap nilai produktivitas padi di Kecamatan Ambulu selama 5 tahun dengan tingkat kelinieran 68,68%. Berdasarkan grafik hubungan nilai NDDI dengan tingkat produktivitas padi dapat diambil kesimpulan bahwa kekeringan yang terjadi di Kecamatan Ambulu pada tahun 2016-2020 berpengaruh terhadap penurunan produksi padi sebesar 27,24%.

Kata kunci: Penginderaan jarak jauh; Sentinel; NDWI; NDDI; Produktivitas padi.

## PENDAHULUAN

Padi menjadi sumber makanan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia. Negara Indonesia memberi kontribusi produksi padi terbesar keempat dunia setelah China, India, dan Bangladesh. Provinsi di Indonesia yang menyumbang produksi padi terbesar adalah provinsi Jawa Timur<sup>[1, 2, 3]</sup>. Jawa Timur memberi kontribusi total produksi padi di Indonesia sebesar 17,44%. Hal ini mengindikasikan bahwa peran Jawa Timur dalam mendukung produksi padi nasional adalah sangat penting. Hal ini yang menuntut provinsi Jawa Timur untuk terus meningkatkan produksi padi demi ketercapaian swasembada pangan khususnya untuk masyarakat Jawa Timur salah satunya di Kabupaten Jember terutama di Kecamatan Ambulu. Kecamatan Ambulu merupakan bagian dari provinsi Jawa Timur yang berperan penting dalam menyumbang produksi padi, namun beberapa tahun terakhir mengalami penurunan produktivitas padi. Berdasarkan publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2015, Kecamatan Ambulu memiliki hasil produksi padi mencapai 28.147 ton dengan luas lahan 3.889 ha. Pada tahun 2016, padi yang dihasilkan di kecamatan Ambulu mencapai 62,9 kw/ha dengan hasil produksi 23.774 ton<sup>[4]</sup>. Faktor yang dapat mempengaruhi penurunan hasil produksi padi salah satunya adalah tingkat kekeringan yang diindikasikan dengan nilai kelembaban tanah atau kadar air tanah<sup>[5, 6]</sup>.

Salah satu faktor yang mempengaruhi hasil produksi padi adalah kelembaban tanah<sup>[7]</sup>. Ketika kelembaban tanah menurun maka tanaman akan merasakan stress kondisi kekeringan dan berakibat pada terganggunya fungsi fisiologi tanaman seperti fotosintesis, respirasi, absorpsi ion, proses pembungaan dan penbuahan<sup>[8, 9]</sup>. Kekeringan juga berpengaruh secara signifikan pada laju fotosintesis, tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang daun, dan berat akar<sup>[8, 10, 11]</sup>. Dengan demikian kadar air tanah atau tingkat kelembaban dan kekeringan tanah merupakan parameter utama yang berefek pada produksi tanaman<sup>[1, 6]</sup>. Pengukuran kelembaban dan kekeringan lahan yang disebutkan di atas dengan metode tradisional memerlukan waktu yang lama dan ruang lingkup yang sempit. Solusi yang dapat dilakukan untuk dapat melakukan pengukuran yang tepat, lebih murah, cepat, dan dapat menjangkau di berbagai area yang luas adalah dengan menggunakan metode penginderaan jarak jauh yang menggunakan data satelit<sup>[12, 13]</sup>. Satelit yang digunakan diantaranya adalah satelit Sentinel-2A karena memiliki resolusi tinggi dan resolusi temporal relatif cepat untuk mendeteksi kekeringan<sup>[14, 15]</sup>. Pendeteksian kekeringan lahan dapat dilakukan berdasarkan nilai indeks antara lain yaitu *Normalized Difference Water Indeks* (NDWI) dan *Normalized Difference Drought Indeks* (NDDI)<sup>[5, 16, 17]</sup>.

NDWI adalah nilai indeks yang digunakan untuk menganalisis kelembaban suatu lahan pertanian berdasarkan data pada kanal *short wave infrared* (SWIR) dan kanal *near infrared* (NIR). Nilai NDWI dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (1)$$

dimana NIR merupakan nilai reflektansi kanal 8, inframerah dekat dan SWIR merupakan nilai reflektansi kanal 12, gelombang pendek inframerah.

Nilai NDDI didapatkan dari rumus indeks vegetasi, *Normalized Difference Vegetation Indeks* (NDVI) dan nilai NDWI berdasarkan persamaan berikut ini.

$$NDDI = \frac{NDVI - NDWI}{NDVI + NDWI} \quad (2)$$

dimana NDVI diperoleh dari nilai reflektansi pada NIR yang merupakan nilai reflektansi kanal 8, inframerah dekat dan Red yang merupakan nilai reflektansi kanal 4, gelombang merah. Secara matematis nilai NDVI dirumuskan dengan:

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

Nilai NDDI merupakan indeks kekeringan vegetasi baru yang menggabungkan informasi dari saluran spektrum Red, NIR, dan SWIR sehingga dapat digunakan sebagai indikator dalam pemantauan kekeringan lahan [5].

Pada penelitian ini dilakukan deteksi tingkat kekeringan yang berefek pada banyaknya produksi padi dengan metode penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Penelitian ini melakukan identifikasi tingkat kekeringan tanah menggunakan teknologi *remote sensing* berbasis pada data Sentinel-2A dengan menghitung nilai NDWI dan NDDI. Hubungan antara tingkat kekeringan dengan data hasil produksi padi juga akan dianalisis untuk melihat seberapa besar pengaruh tingkat kekeringan terhadap produksi padi di Kecamatan Ambulu.

## METODE

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang diambil meliputi data curah hujan, data produktivitas padi, dan data satelit Sentinel-2A. Kemudian diolah menggunakan PC ASUS X441N.

Pengumpulan data pertama yang diambil yaitu data curah hujan pada tahun 2016 – 2020. Data curah hujan didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS) untuk menentukan bulan yang memiliki tingkat curah hujan tinggi sebagai acuan awal mula terjadinya musim penghujan menggunakan Software MS. Excel. Data bulan pada musim penghujan hanya diambil 4 bulan karena padi hanya berusia 4 bulan.

Pengumpulan data selanjutnya yaitu data sekunder berupa citra pada satelit Sentinel-2A yang dapat diakses secara gratis melalui website <https://earthexplorer.usgs.gov/> untuk daerah Kecamatan Ambulu dengan periode yang telah ditentukan. Data Sentinel-2A yang memiliki 12 kanal hanya diambil 5 kanal, yakni pada kanal 2 (BLUE), kanal 3 (GREEN), kanal 4 (RED), kanal 8 (NIR), dan kanal 12 (SWIR). Kemudian data diolah menggunakan *Software Qgis Maidaera 3.4.6* untuk dikoreksi radiometrik. Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengubah nilai *Digital Number* ( $Q_{CAL}$ ) ke radian ToA (*Top on Atmosphere*) yang disimnolkan dengan  $L_\lambda$  yang secara matematis dituliskan seperti pada persamaan (4). Nilai faktor pengali ( $M_L$ ) dan factor penambah ( $A_L$ ) dapat diperoleh dari file metadata.

$$L_\lambda = M_L Q_{CAL} + A_L \quad (4)$$

Kemudian dilakukan koreksi geometrik menggunakan *Software ENVI 4.5* untuk pemetaan piksel berupa data citra satelit dengan lokasi sebenarnya pada permukaan bumi berdasarkan peta shp. Pada penerapannya, dilakukan pengambilan 15 titik GCP (ground control point) berupa koordinat x y. Kemudian dicari nilai statistik error atau *Root Mean Square Error* (RMSE) menggunakan *MS. Excel* yang secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan 5, dimana  $y_i$  adalah data ke i,  $\hat{y}$  adalah nilai rata-rata dan n adalah jumlah data.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}{n}} \quad (5)$$

Tujuan perumusan RMSE untuk mengetahui tingkat ketelitian citra (pergeseran citra) dapat dilihat berdasarkan besar nilai RSME. Citra dapat digunakan ketika nilai RMSE yang

dihasilkan bernilai kurang dari 1 yang menunjukkan bahwa pergeseran citra terhadap permukaan bumi kurang dari 1 piksel yang setara dengan 10 m. Langkah selanjutnya dilakukan pemotongan citra Kecamatan Ambulu dan digitasi untuk pemetaan lahan sawah. Digitasi dilakukan menggunakan *Software Arcgis 10.3* dengan bantuan peta *true color* dari hasil pengabungan kanal 2, 3, dan 4 yang didapat pada data citra satelit Sentinel-2A.

Kemudian dilakukan klasifikasi kekeringan menggunakan *Software Arcgis 10.3* menjadi 5 kelas warna berdasarkan nilai indeks NDWI dan NDDI. 5 kelas tersebut meliputi kekeringan sangat berat (merah), kekeringan berat (orange), kekeringan sedang (kuning), kekeringan ringan (hijau muda), dan normal (hijau tua) seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2 sebagai berikut:

**Tabel 1.** Klasifikasi kekeringan dengan nilai NDWI

No.	Klasifikasi Kekeringan	Nilai NDWI
1.	Kekeringan Sangat Berat	$NDWI < 0,2$
2.	Kekeringan Berat	$0,2 \leq NDWI < 0,35$
3.	Kekeringan Sedang	$0,35 \leq NDWI < 0,45$
4.	Kekeringan Ringan	$0,45 \leq NDWI < 0,55$
5.	Normal Data	$NDWI \geq 0,55$

**Tabel 2.** Klasifikasi kekeringan dengan nilai NDDI

No.	Klasifikasi Kekeringan	Nilai NDDI
1.	Normal	$NDDI < 0,01$
2.	Kekeringan Ringan	$0,01 \leq NDDI < 0,15$
3.	Kekeringan Sedang	$0,15 \leq NDDI < 0,25$
4.	Kekeringan Berat	$0,25 \leq NDDI < 1$
5.	Kekeringan Sangat Berat	$NDDI \geq 1$

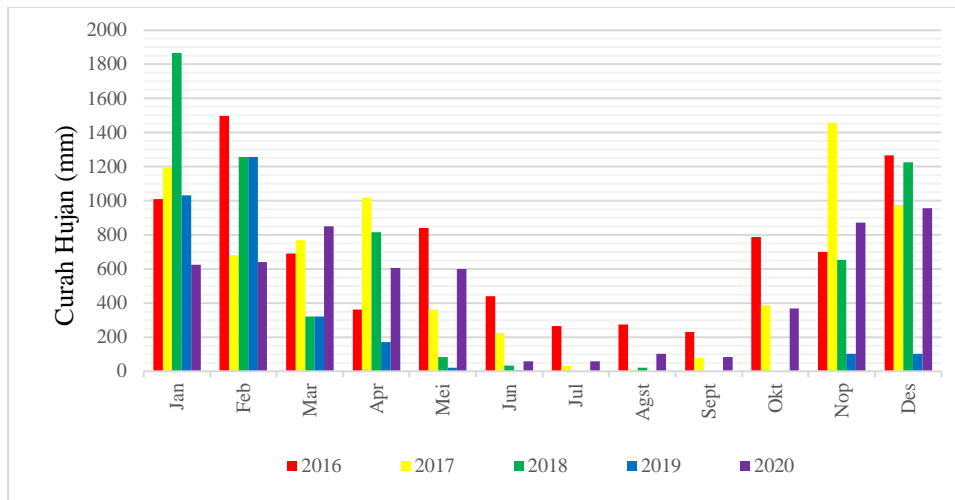
Masing-masing metode dijadikan peta kekeringan berdasarkan klasifikasi nilai indeks. Peta indeks kekeringan dikomputasikan dalam bentuk angka dan diolah menggunakan *Software MS. Excel* untuk dicari nilai rata-rata NDWI dan NDDI setiap tahunnya. Setelah itu, hasil nilai rata-rata NDWI dan NDDI dihubungkan dengan hasil produktivitas padi dan dianalisis korelasinya berdasarkan setiap tahunnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan periode data

Data Sentinel-2A yang digunakan berasal dari Satelit Sentinel-2A yang diakses melalui website <https://earthexplorer.usgs.gov> berupa data citra dengan waktu temporal 10 hari. Data yang akan diolah berupa citra (gambar) Kecamatan Ambulu, Kabupaten Jember dari tahun 2016 hingga 2020. Dalam setiap tahunnya, Kecamatan Ambulu hanya melakukan 1 kali panen padi yakni pada musim penghujan. Musim hujan dapat ditentukan menggunakan data curah hujan berdasarkan tingginya tingkat curah hujan (mm).

Data curah hujan dari BPS berupa tabel curah hujan pada setiap bulannya berdasarkan setiap desa di Kecamatan Ambulu. Kemudian data diolah dan dirata-rata dalam bentuk diagram batang seperti pada Gambar 1 berikut.

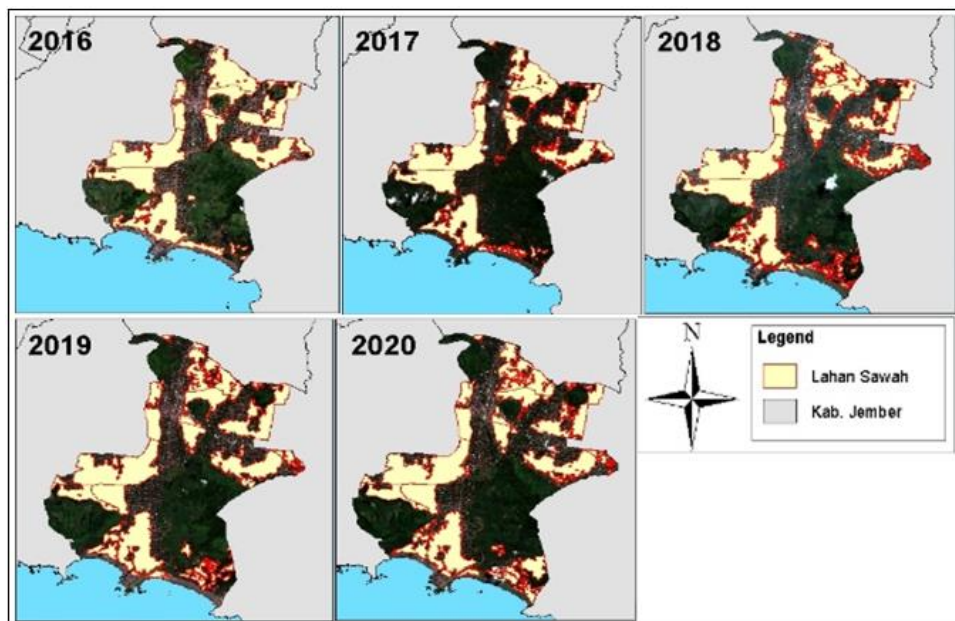


Gambar 1. Grafik hubungan tingkat curah hujan dengan bulan

Pola musim penghujan dan musim kemarau setiap tahunnya dapat dikenali berdasarkan Gambar 1. Musim kemarau terjadi pada saat nilai curah hujan rendah yaitu antara bulan Mei – Oktober, sedangkan musim penghujan terjadi pada bulan November – April. Sedangkan masa tanam padi, Kecamatan Ambulu dilakukannya pada bulan Januari, sehingga masa tanam padi terjadi pada bulan Januari – April <sup>[4]</sup>.

### Digitasi Lahan Sawah

Digitasi dilakukan untuk mencari fungsi luas lahan sawah pada musim hujan. Sawah beririgasi di musim kemarau berubah menjadi tanaman sekunder atau non sawah yang dikolerasikan dengan peta sebenarnya (*peta true colour*). Hasil digitasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil digitasi lahan sawah Kecamatan Ambulu tahun 2016-2020

Hasil Digitasi lahan sawah menghasilkan luasan lahan yang sedikit berbeda setiap tahunnya perlu dibandingkan dengan luas lahan sawah dari BPS. Ketika perbandingannya mendekati 1, hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pemetaan luas lahan sawah yang

digunakan mendekati luas lahan sawah di lapangan sehingga data pemetaan hasil digitasi tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi lahan sawah.

**Tabel 3.** Perbandingan luas lahan pemetaan dengan luas lahan BPS

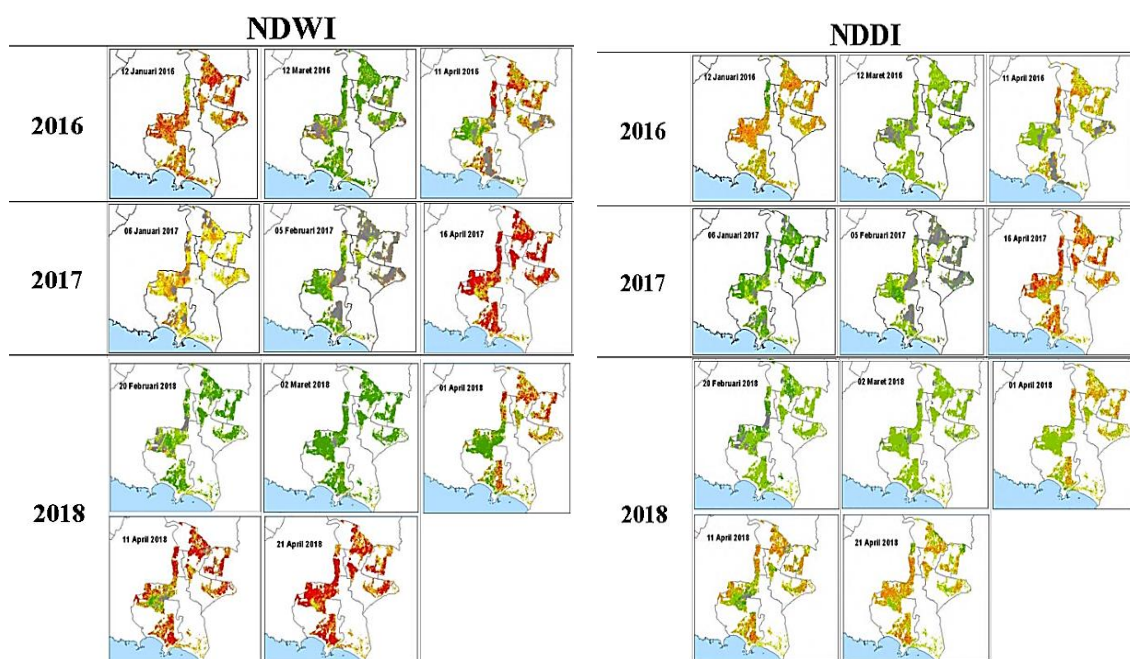
No .	Tahun	L. Pemetaan (ha)	L.BPS (ha)	Perbandingan
1.	2016	3891,934	3633	1,071
2.	2017	3534,700	3700	0,955
3.	2018	3518,732	3697	0,952
4.	2019	3638,065	3696	0,984
5.	2020	3621,382	3779	0,958

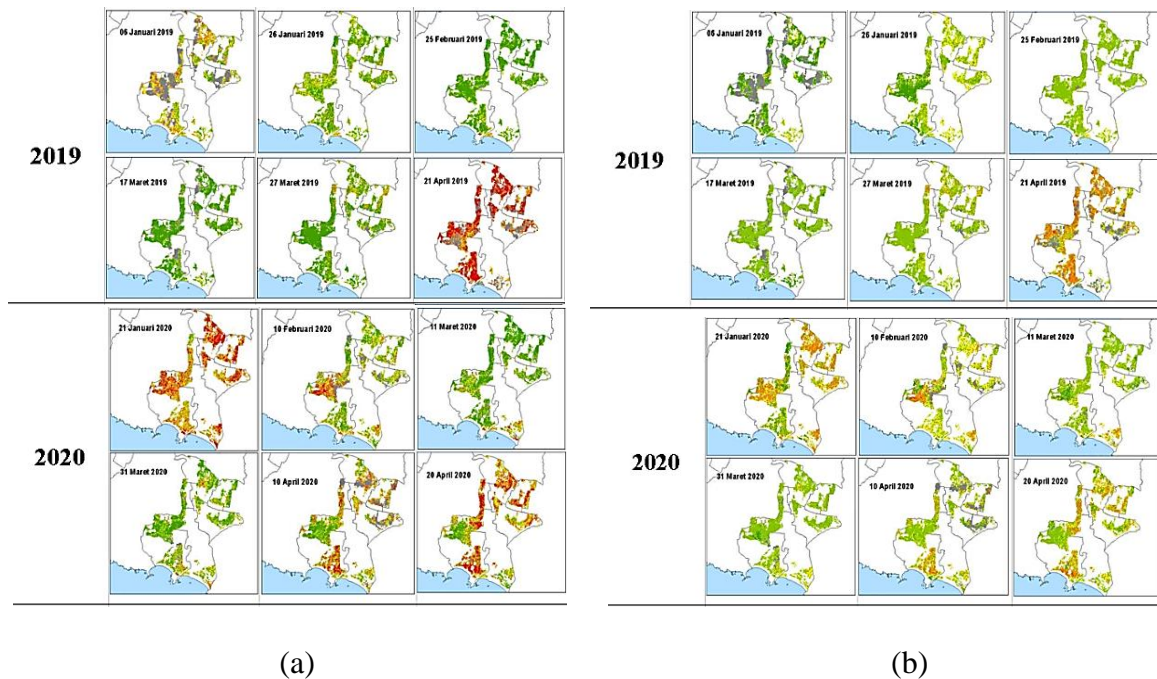
Pendekatan luas lahan pemetaan sawah padi hampir mendekati luas lahan dari data BPS mencapai 95% dan 5% lainnya dipengaruhi oleh lahan sawah non padi atau tutupan awan, tepat menutupi permukaan lahan yang dipetakan sebagai persawahan.

### Analisis Nilai Indeks (NDWI dan NDDI)

Indeks kebasahan (*Normalized Difference Water Index*) menggunakan kanal NIR dan SWIR. Pantulan kanal SWIR mencerminkan perubahan kadar air tanaman, sedangkan pemantulan kanal NIR dipengaruhi oleh struktur internal daun dan kandungan bahan kering daun [18]. Kombinasi NIR dan SWIR menghilangkan variasi yang disebabkan oleh struktur internal daun dan meningkatkan akurasi penentuan kadar air atau tingkat kekeringan vegetasi [19].

Indeks kekeringan *Normalized Difference Drought Index* (NDDI) diperoleh menggunakan perpaduan indeks vegetasi (NDVI) dan indeks kelembaban (NDWI) berdasarkan Persamaan 3. Analisis kekeringan ini menggunakan perubahan nilai indeks NDVI dan NDWI yang terdapat hubungan antara NDVI dan NDWI pada kondisi kekeringan [5]. Hasilnya kemudian diolah menggunakan *Software Arcgis* menjadi Gambar 3.





**Gambar 3.** Time series peta indeks kekeringan lahan sawah. (a) NDWI, dan (b) NDDI

Berdasarkan Gambar 3 (a), kekeringan terjadi pada bulan April karena peta NDWI terlihat berwarna merah yang diklasifikasikan kekeringan sangat berat. Hal ini terjadi karena lahan tanaman padi mengalami fase pematangan. Fase tersebut menyebabkan lahan sawah tampak menguning dari gabah (biji) dan daunnya. Kondisi tersebut menyebabkan nilai NDWI rendah karena gelombang NIR banyak yang terserab, sedangkan gelombang yang terpantulkan dari SWIR tinggi.

Berdasarkan Gambar 3 (b), kekeringan juga terjadi pada bulan April karena peta NDDI terlihat berwarna orange dan kuning yang diklasifikasikan kekeringan berat dan kekeringan sedang daripada bulan lainnya. Hal tersebut terjadi karena nilai NDDI bernilai tinggi. Tingginya nilai NDDI karena gelombang merah (RED) cenderung mudah memantulkan gelombang ketika luasan daun hijau berkurang, sedangkan gelombang SWIR pada NDWI cenderung lebih rendah daripada gelombang merah dalam memantulkan gelombang saat fase generatif sehingga nilai NDDI bernilai positif (tinggi) yang diklasifikasikan kekeringan berat.

Kekeringan lahan padi juga terjadi di bulan Januari. Hal tersebut terjadi karena gelombang merah (RED) yang seharusnya terserab oleh tanah terdapat gelombang dipantulkan dari keberadaan air. Kondisi tersebut mengakibatkan indeks vegetasi cenderung bernilai tinggi daripada gelombang SWIR pada NDWI. Sehingga, nilai NDDI bernilai cukup tinggi yang dapat diklasifikasikan kekeringan sedang hingga berat (kuning – orange).

Hal tersebut berdasarkan dari perkembangan padi terdapat tiga fase pertumbuhan, yaitu fase vegetatif (0 – 60 hari), fase generatif (60 – 90 hari), dan fase pemasakan (90 – 120 hari) [20]. Setiap fase memiliki kebutuhan air yang bervariasi [21, 22]. Berdasarkan hasil NDWI dan NDDI menunjukkan bahwa kekeringan lahan pertanian terjadi pada bulan April. Hal ini karena pada bulan tersebut, tanaman padi berada fase pematangan.

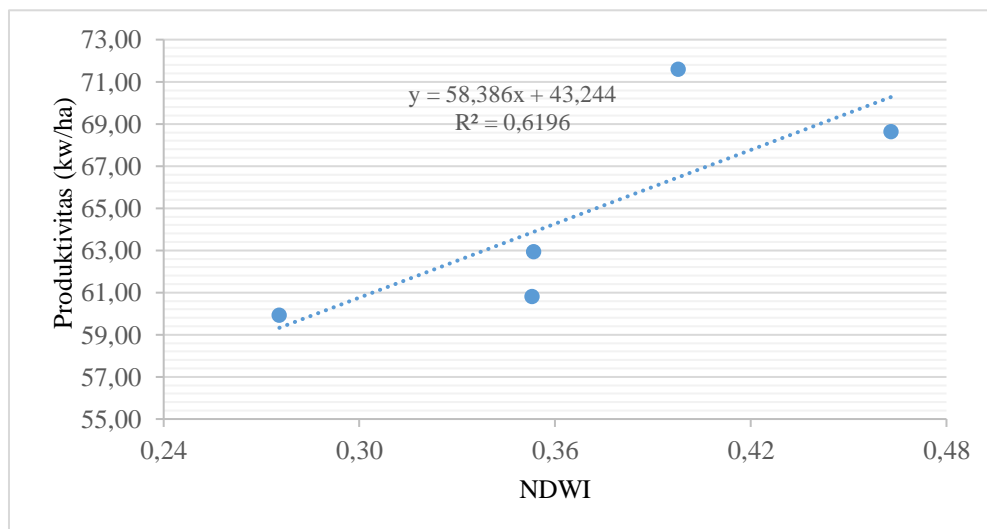
## Nilai Korelasi

Nilai korelasi didapatkan dengan pendekatan nilai indeks kekeringan terhadap produktivitas padi. Berikut hubungan produktivitas padi dengan nilai indeks kekeringan didapatkan dari nilai indeks rata-rata 5 kelas klasifikasi untuk setiap data dan dirata-rata lagi berdasarkan banyaknya data yang bisa diambil dalam 1 tahun. Hasil data dapat dipaparkan dalam bentuk Tabel 4 sebagai berikut:

**Tabel 4.** Hubungan produktivitas dengan nilai indeks

No.	Tahun	Produktivitas (kw/ha)	NDWI	NDDI
1.	2016	62,911	0,35344	0,20595
2.	2017	59,915	0,27547	0,18350
3.	2018	60,790	0,35297	0,14725
4.	2019	68,608	0,46291	-0,15279
5.	2020	71,577	0,39777	-0,02607

Berdasarkan Tabel 4, semakin tinggi produktivitas padi (kw/ha) maka nilai NDWI semakin tinggi. Sedangkan NDDI, Semakin tinggi produktivitas padi maka nilai NDDI semakin rendah. Dari data tersebut, dapat diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5.

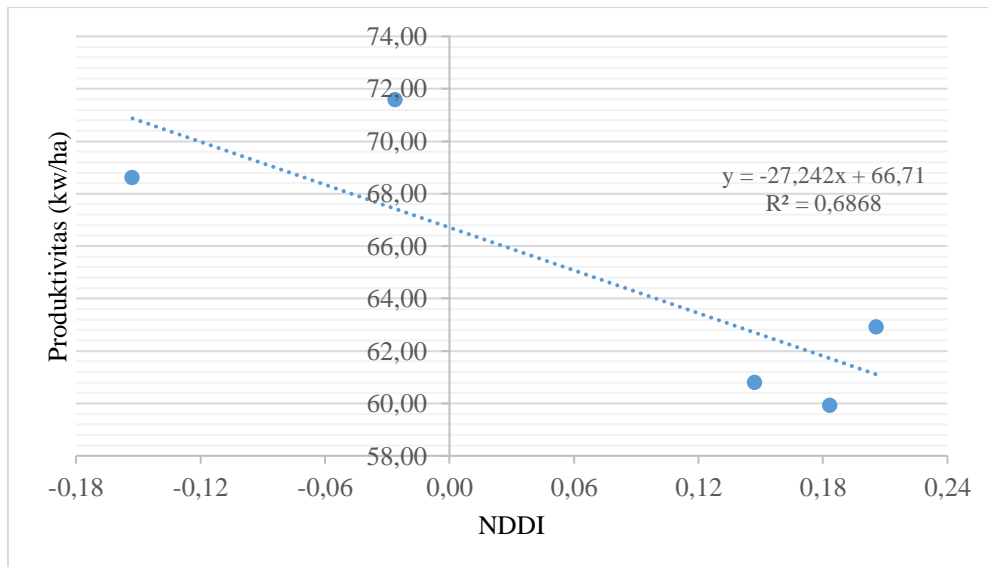


**Gambar 4.** Grafik hubungan produktivitas padi dengan indeks NDWI

Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan antara nilai NDWI terhadap produktivitas padi adalah positif. Artinya, semakin tinggi nilai NDWI maka hasil produksi padi yang dinyatakan dalam kw/ha juga semakin tinggi pula. Karena nilai NDWI mengindikasikan ketersediaan air dalam tanah maka dapat dikatakan bahwa ketecukupan ketersediaan air dalam tanah akan membuat hasil produksi padi meningkat karena tanaman padi merupakan jenis tanaman yang membutuhkan banyak air (60%) selama proses pertumbuhannya<sup>[23]</sup>. Berdasarkan data di atas, linieritas hubungan antara peningkatan nilai NDWI terhadap hasil produksi pada adalah sebesar 61,96%.

Sebaliknya ketika kandungan air dalam tanah kurang maka tanaman padi akan mengalami stress kekeringan. Nilai NDDI menggambarkan tingkat stress tanaman akibat kekeringan yang akhirnya juga berhubungan dengan nilai produktivitas padi seperti digambarkan pada grafik gambar 5 berikut.





**Gambar 5.** Grafik hubungan produktivitas padi dengan indeks NDDI

Berdasarkan Gambar 5, grafik menunjukkan bahwa hubungan antara nilai NDDI terhadap produktivitas padi adalah negative atau berbanding terbalik. Artinya, semakin tinggi nilai NDDI maka nilai produktivitas padi semakin rendah. Semakin tinggi nilai NDDI menggambarkan semakin tingginya tingkat kekeringan lahan padi. Trend ini sama dengan hasil penelitian yang dilaporkan Zhang et al.<sup>[24]</sup> bahwa stress akibat kekeringan pada tanaman padi akan mengakibatkan penurunan hasil produksi sampai 25,4%. Hal yang sama juga disampaikan oleh Govindan<sup>[25]</sup> dimana kekeringan yang dialami padi pada masa Peranakan akan mengakibatkan penurunan hasil panen kurang dari 40% namun jika kekeringan dialami mulai awal masa generatif atau menjelang munculnya malai akan mampu mengurangi hasil produksi sampai 60%. Berdasarkan grafik hubungan antara nilai NDDI dan produktivitas padi dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa kelinieran hubungan turunya produksi padi terhadap nilai NDDI adalah 68,68%. Jika nilai kemiringan grafik diterjemahkan menjadi prosentase penurunan hasil produksi terhadap tingkat kekeringan yang dialami padi maka penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kekeringan akan menyebabkan penurunan produktivitas padi sebesar 27,24%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian ini yang dilakukan dengan menggunakan data Sentinel 2 pada tahun 2016 sampai 2020 untuk wilayah kecamatan Ambulu kabupaten Jember, Diperoleh bahwa nilai NDWI memiliki hubungan positif dengan tingkat produktivitas padi sementara nilai NDDI memiliki hubungan yang sebaliknya yaitu berbanding terbalik dengan nilai produktivitas padi. Grafik hubungan antara produktivitas padi dengan nilai NDWI dan NDDI memiliki linieritas berturut-turut adalah 61,96% dan 68,68%. Tingkat kekeringan yang dialami tanaman padi dan diindikasikan dengan nilai NDDI memberi pengaruh pada penurunan produktivitas padi sebesar 27,24%.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ishaq, M., Rumiati, A. T., & Permatasari, E. O. 2017. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi produksi padi di Provinsi Jawa Timur menggunakan regresi semiparametrik spline. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*. 6(1), 7, doi: 10.12962/j23373520.v6i1.22451.

2. Adawiyah, C. R., Sumardjo, N., & Mulyani, E. S. 2018. Faktor-faktor yang memengaruhi peran komunikasi kelompok tani dalam adopsi inovasi teknologi upaya khusus (padi, jagung, dan kedelai) di Jawa Timur. *Jurnal Agro Ekonomi*, 35(2), 151. doi:10.21082/jae.v35n2.2017.151-170.
3. Wahed, M. 2018. Pengaruh luas lahan, produksi dan harga gabah terhadap kesejahteraan petani padi di daerah sentral produksi padi Kabupaten Jember. *Journal of Economics Development Issues*, 1(1), 33–40, doi: 10.33005/jedi.v1i1.9.
4. Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember. 2021. *Kabupaten Jember Dalam Angka 2021*. BPS Kabupaten Jember. BPS Kab, Jember, ISSN: 0215.5524.
5. Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B. 2007. A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6), 1–6, doi: 10.1029/2006GL029127.
6. Estiningtyas, W., & Syakir, M. 2018. Pengaruh perubahan iklim terhadap produksi padi di lahan tadah hujan. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 18(2), 83–93, doi: 10.31172/jmg.v18i2.406.
7. Yulindoko, H., & Wardhany, V. A. 2019. Implementasi monitoring kelembapan dan suhu tanah berbasis Wireless Mesh sebagai penunjang peningkatan produksi padi. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Terapan*, 4(1), 33–38, doi: 10.25047/jtit.v4i1.18.
8. Tubur, H. W., Chozin, M. A., Santosa, A., & Junaedi, A. 2013. Respon agronomi varietas padi terhadap periode kekeringan pada sistem sawah. *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 40(3), 167–173, doi: 10.24831/jai.v40i3.6796.
9. Wahyudie, Tri. 2020. *Pengolaan Komoditas Hortikultura Ungulan Berbasis Lingkungan*. FP. Aswaja. NTB, Indonesia, ISBN: 978-623-6636-31-2.
10. Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-rehman, M., Ibrahim, M., Arshad, M., & Farooq, M. 2018. Ecotoxicology and Environmental Safety Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148(August 2017), 825–833, doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.11.063.
11. Chen, W., Yao, X., Cai, K., & Chen, J. 2011. Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142(1), 67–76, doi: 10.1007/s12011-010-8742-x.
12. Taufik, A. 2019. Perspektif tentang perkembangan sistem pembelajaran jarak jauh di Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Pendidikan&Konseptual*, 3(2), 88–98, doi: 10.28926/riset\_konseptual.v2i4.111.
13. Zhang, C., & Kovacs, J. M. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: A review. *Precision Agriculture*, 13(6), 693–712, doi: 10.1007/s11119-012-9274-5.
14. Putri, E. S., Widiyari, A., Karim, R. A., Somantri, L., & Ridwana, R. (2021). Pemanfaatan citra Sentinel-2 untuk analisis kerapatan vegetasi di wilayah Gunung Manglayang. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 9(2), 133–143, doi: 10.23887/jjpg.v9i2.35357.
15. Kasanah, N., Bashit, N., & Hadi, F. (2021). Analisis lahan sawah tergenang banjir menggunakan metode change detection dan Pppm (phenology and pixel based paddy rice mapping) (studi kasus: Kabupaten Demak). *Jurnal Geodesi Undip*, 10, 259–268.
16. Rahman, F., Sukmono, A., & Yuwono, B. D. 2017. Analisis kekeringan pada lahan pertanian menggunakan metode NDDI dan perka BNPB nomer 02 tahun 2012 (studi kasus: Kabupaten Kendal tahun 2015). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 6(4), 274-284.
17. Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., Yan, H., & Zarekarizi, M. 2017. *Remote sensing of drought: vegetation, soil moisture, and data assimilation*. 121–149, doi:10.1007/978-3-319-43744-6\_7.
18. Bahadur, K. 2018. *NDVI, NDBI & NDWI calculation using landsat 7,8*. Online: <https://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri/%0Ahttps://www.linkedin.com/pulse/ndvi-ndbi-ndwi-calculation-using-landsat-7-8-tek-bahadur-kshetri>.
19. Karismawati, A., Sukmono, A., & Sasmito, B. (2019). Analisis perbandingan identifikasi kekeringan lahan sawah metode drought index dan vegetation index pada citra Landsat 8 (studi kasus: Kabupaten Kendal, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(4), 21–30.

20. Shantiawan, P., & Suwardike, P. 2020. Adaptasi padi sawah (*Oryza sativa* L) terhadap peningkatan kelebihan air sebagai dampak pemanasan global. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 2(2), 130–144, doi: 10.37637/ab.v2i2.415.
21. Julianto, F. D., & Ediyanto, M. T. 2021. Analisis sebaran potensi kekeringan dengan cloud computing platform di Kabupaten Grobogan. *Jurnal Ilmiah Teknik Geomatika IMAGI*, 1, 23–30.
22. Triana, A. N., Purnomo, R. H., & Khalid, F. 2021. Kajian kebutuhan air dan koefisien tanaman padi (*Oryza sativa* L) di lahan rawa lebak. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 9(1), 9–16.
23. Supriyanto. 2019. *Kebutuhan Air Pada Tanaman Padi*. Online: <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/80004/KEBUTUHAN-AIR-PADA-TANAMAN-PADI/>
24. Zhang, J., Zhang, S., Cheng, M., Jiang, H., Zhang, X., Peng, C., Lu, X., Zhang, M., & Jin, J. (2018). Effect of Drought on Agronomic Traits of Rice and Wheat: A Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15(5), 839. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050839>
25. Govindan, V. (2005). Effect of water stress on yield of rice crop. *International journal of Ecology & Development*, 3, 77-89.