

# PENDUGAAN UMUR PERTANAMAN PADI DENGAN PEMODELAN KLASIFIKASI MULTICLASS ROTATION FOREST BERDASARKAN CITRA LANDSAT-8

## *Estimation Of Rice Plantation Age Using Multiclass Rotation Forest Classification Modeling Based On Landsat-8 Image*

Muhammad Hidayat, Anang Kurnia, dan Bagus Sartono

*Institut Pertanian Bogor*

*Jl. Raya Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia*

*Telp. (0251) 8622642, Fax. (0251) 8622642*

*E-mail: hidayat\_93@ymail.com*

*(Makalah diterima, 17 November 2019 – Disetujui, 03 Desember 2021)*

### ABSTRAK

Pemantauan pertumbuhan tanaman padi perlu dilakukan untuk menduga keberhasilan panen. Fase pertumbuhan dan umur tanaman padi adalah parameter biofisik pertanian yang dapat dideteksi oleh teknologi citra Landsat-8. Variabel yang diperoleh dari Landsat-8 adalah pita dan indeks vegetasi. Pemrosesan awal adalah mengolah data pertanian padi milik PT Sang Hyang Seri di Kabupaten Subang, Jawa Barat, dari data rekapitulasi tanam dan 16 data citra Landsat-8 setiap hari selama periode 2015-2017. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai akurasi terbaik dari teknik klasifikasi dengan terlebih dahulu menerapkan proses *multiclass* untuk umur pertanian padi, rekayasa fitur, interaksi variabel dari variabel awal, dan teknik resampling. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Multiclass Rotation Forest*. Penerapan metode klasifikasi ini menghasilkan nilai akurasi untuk model tanpa varietas 75,29% dan untuk varietas Mekongga 76,33%, Ciherang 75,18%, Inpari-30 62,70%, dan PB42 62,87%.

**Kata kunci:** padi, umur tanaman, pendugaan, indeks vegetasi, citra landsat-8

### ABSTRACT

*Monitoring the growth of rice plants needs to be done to predict the success of the harvest. The growth phase and age of rice plants are crop biophysical parameters that can be detected by Landsat-8 image technology. The variables obtained from Landsat-8 are bands and vegetation index. The initial processing is processing data on rice plantations belonging to PT Sang Hyang Seri in Subang Regency, West Java, from crop recapitulation data and 16 Landsat-8 image data every day during the 2015-2017 period. This study aims to determine the best accuracy value of the classification technique by first applying the multiclass process for rice planting age, feature engineering, variable interaction of initial variables, and resampling techniques. The classification method used is Multiclass Rotation Forest. The application of this classification method resulted in an accuracy value for the model without varieties of 75.29% and for the varieties Mekongga 76.33%, Ciherang 75.18%, Inpari-30 62.70%, and PB42 62.87%.*

**Key words:** rice, age phases, estimation index vegetation landsat-8 imagery

## PENDAHULUAN

Ketahanan pangan di suatu negara dapat diindikasikan dari produksi komoditas makanan pokok penduduk di negara tersebut. Di Indonesia, produksi padi merupakan salah satu indikator ketahanan pangan karena beras menjadi makanan pokok mayoritas penduduk.

Kementerian Pertanian (Kementan) optimistis harga beras pada tahun 2018 akan stabil sehingga tidak diperlukan impor hingga tahun 2019 karena produksi beras diprediksi surplus 13,03 juta ton. Perkiraan surplus dihitung dari target produksi padi pada tahun 2018 sebesar 80 juta ton atau 46,5 juta ton setara beras, sementara perkiraan total konsumsi beras nasional hanya 33,47 juta ton (Kementan 2018). Target produksi beras sebesar 80 juta ton merupakan angka yang realistis dan optimistis dapat mencapai. Angka tersebut bisa diprediksi dengan melihat *trend* produksi beras Badan Pusat Statistik (BPS) dalam 10 tahun terakhir yang terus meningkat. Produksi padi pada tahun 2007 tercatat 57,15 juta ton, meningkat menjadi 60,32 juta ton pada tahun 2008. Begitu juga pada tahun 2009, produksi mencapai 64,39 juta ton, dan pada tahun 2010 naik lagi menjadi 66,47 juta ton (Kementan 2018). Berdasarkan data produksi dari Kementan dan BPS, stok beras di Indonesia seharusnya lebih dari cukup, namun nyatanya pada tahun 2018 Indonesia kembali mengimpor beras.

Pendugaan produksi padi menjadi sangat penting untuk mengevaluasi kecukupan persediaan pangan. Data produksi yang dihasilkan kemudian dijadikan bahan pertimbangan dalam mengambil kebijakan terhadap tercukupinya kebutuhan pangan suatu negara atau wilayah. Dalam teknologi budi daya, kerapatan tanaman merupakan salah satu komponen dalam manipulasi tanaman untuk meningkatkan hasil. Pada kondisi jarak tanam yang sempit, tanaman padi umumnya mengalami penurunan kualitas pertumbuhan daripada jarak tanam lebar (Abdulrachman *et al.* 2013). Data produktivitas tanaman padi dapat diperoleh melalui pengukuran di lapangan dan penggunaan teknologi, antara lain dengan citra satelit untuk memperkirakan produksi padi pada lahan sawah yang memiliki ciri sejenis dalam satu daerah.

Studi penggunaan citra satelit untuk memonitor pertumbuhan tanaman padi telah banyak dilakukan, diantaranya untuk menduga produksi padi (Nuarsa *et al.* 2011). Selain itu, terdapat data citra satelit yang dapat diperoleh dengan cepat dan gratis. Sebagai contoh, citra Landsat-8 dengan periode data setiap 16 hari. Secara umum, citra satelit sudah mulai dimanfaatkan di berbagai bidang, salah satunya pertanian yang menggunakan citra satelit untuk model pertumbuhan padi (Dirgahayu *et al.* 2015; Parsa *et al.* 2017), *land cover classification* (Kussul *et al.* 2017), *crop type classification* (Azar *et al.* 2016; Akgarian *et al.* 2016), *crop yield estimation* (You *et al.*

2017; CCFAS-JRC 2012), *paddy rice mapping* (Zhang *et al.* 2018; Plain 2017).

Parameter tingkat kehijauan tanaman (*vegetation index*) yang diturunkan melalui analisis citra satelit dapat digunakan menduga umur tanaman padi. Beberapa indeks vegetasi yang andal dalam menduga umur tanaman padi yang akan digunakan dalam penelitian adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) dan LSWI (*Land Surface Water Index*). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menduga umur tanaman padi berdasarkan data citra Landsat-8 menggunakan metode *Multiclass Rotation Forest*.

## BAHAN DAN METODE

### Klasifikasi

Klasifikasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu teknik transduktif dan induktif. Teknik transduktif mengklasifikasikan obyek langsung berdasarkan obyek yang sudah memiliki kelas namun tidak membuat model pengklasifikasian terlebih dahulu. Contoh teknik transduktif adalah *k-nearest-neighbour* (KNN). KNN mengklasifikasikan obyek baru berdasarkan *k* obyek terdekat dari obyek tersebut, kelas terbanyak dari *k* obyek tersebut akan menjadi kelas dari obyek baru. Teknik induktif membuat model yang menggambarkan hubungan antarpeubah, kemudian model tersebut digunakan untuk menentukan kelas data baru.

### Rotation Forest

*Rotation forest* adalah metode gabungan yang membuat beberapa pohon keputusan yang saling bebas menggunakan himpunan data yang berbeda untuk setiap pohon. Metode ini membagi himpunan peubah ke dalam beberapa himpunan bagian, melakukan rotasi sumbu peubah dengan analisis komponen utama (AKU) pada setiap himpunan bagian, kemudian menyusun ulang himpunan peubah yang baru. (Rodríguez *et al.* 2006). Kuncheva dan Rodríguez (2007) menyatakan *rotation forest* jauh lebih baik dibanding metode gabungan lainnya, seperti *bagging*, *adaboost*, dan *random forest*.

*Rotation forest* menggunakan analisis komponen utama dalam membentuk matriks rotasi untuk merotasi himpunan data yang akan disusun menjadi pohon keputusan. Pohon keputusan digunakan sebagai pengklasifikasi (*classifier*) karena sensitif terhadap rotasi sumbu peubah namun tetap sangat akurat. Analisis komponen utama digunakan untuk merotasi sumbu peubah yang akan dibangun pohon keputusannya. Meskipun menggunakan analisis komponen utama, semua komponen utama tetap

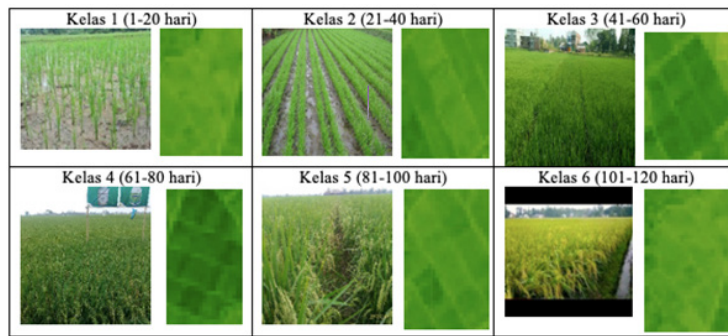
digunakan untuk membangun pohon keputusan agar menjaga kelengkapan informasi data (Rodriguez *et al.* 2006).

**Metode Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diolah menjadi data input. Jenis data yang dipakai meliputi:

1. Citra Landsat-8 tahun 2015-2017, diunduh dengan clouds pada *earthengine.google.com*. Pada Gambar 1 dapat dilihat fase pertumbuhan padi per kelas serta citra landsatnya.
2. Data realisasi tanam padi pada PT Sang Hyang Seri di Subang, Jawa Barat, pada November 2015-Maret 2017.

Tabel 1 menyajikan peubah penelitian. Penelitian menggunakan 10 varietas padi (Tabel 2).



Gambar 1. Fase pertumbuhan padi dan citra landsat

Tabel 1. Peubah penelitian

Peubah	Simbol	Keterangan
Label kelas	1	Vegetatif 1 (1-20 hari)
	2	Vegetatif 2 (21-40 hari)
	3	Vegetatif 3 (41-60 hari)
	4	Generatif 1 (61-80 hari)
	5	Generatif 2 (81-100 hari)
	6	Generatif 3 (101-120 hari)
Penjelas	B1	<i>Band 1</i>
	B2	<i>Band 2</i>
	B3	<i>Band 3</i>
	B4	<i>Band 4</i>
	B5	<i>Band 5</i>
	B6	<i>Band 6</i>
	B7	<i>Band 7</i>
	NDVI	NDVI
	EVI	EVI
	NDBI	NDBI
NDWI	NDWI	

Tabel 2. Varietas padi yang diteliti

Simbol	Varietas padi
v1	Ciherang
v2	Inpari-30
v3	Mekongga
v4	PB42
v5	Inpago-3 SHS
v6	Ciliwung
v7	Cilamaya Muncul
v8	Inpari Sidenuk
v9	IR64
v10	Situbagendit

**Prosedur Analisis Data**

Berdasarkan kerangka kerja, tahapan analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap pembentukan data
  - a. Eksplorasi dan download citra *landsat* tahun 2015-2017 menggunakan *google earth engine* pada sawah PT Sang Hyang Seri di Subang, Jawa Barat.
  - b. *Download* citra yang sudah dikoreksi *geometric* dan atmosfer. Jika gambar citra masih per *band*, maka dilakukan *stacking* untuk menyatukan *band*.
  - c. *Clipping* (potong) citra satelit sesuai blok sawah yang digunakan.
  - d. Pembuatan *pixel* di wilayah kerja berdasarkan titik koordinat lokasi blok sawah penelitian.
  - e. Ekstraksi nilai *band* 1 hingga *band* 7 dan indeks vegetasi yang digunakan.
  - f. Pengecekan nilai *band* dan indeks vegetasi. Membuang data pada nilai kosong, area tertutup awan.
  - g. Data yang diperoleh berupa raw data dan data gambar.
  - h. Merapikan data untuk data penelitian.
2. Tahapan pemodelan
  - a. Eksplorasi dan *cleaning* data.
  - b. Pembuatan *cross validation* (CV) dengan jumlah K = 10.
  - c. Bagi data CV menjadi *data training* dan *data testing*.
  - d. Pembuatan pemodelan pada *data training* dan memprediksi pada *data testing*.
  - e. Pemodelan dilakukan iterasi 10 kali.
  - f. Mengitung akurasi prediksi menggunakan *data testing*.

g. Data validasi digunakan untuk melihat keandalan model ketika memprediksi set data yang baru. Apabila akurasi pada prediksi data validasi mendekati akurasi pada prediksi *data training*, maka model cukup andal untuk memprediksi data baru.

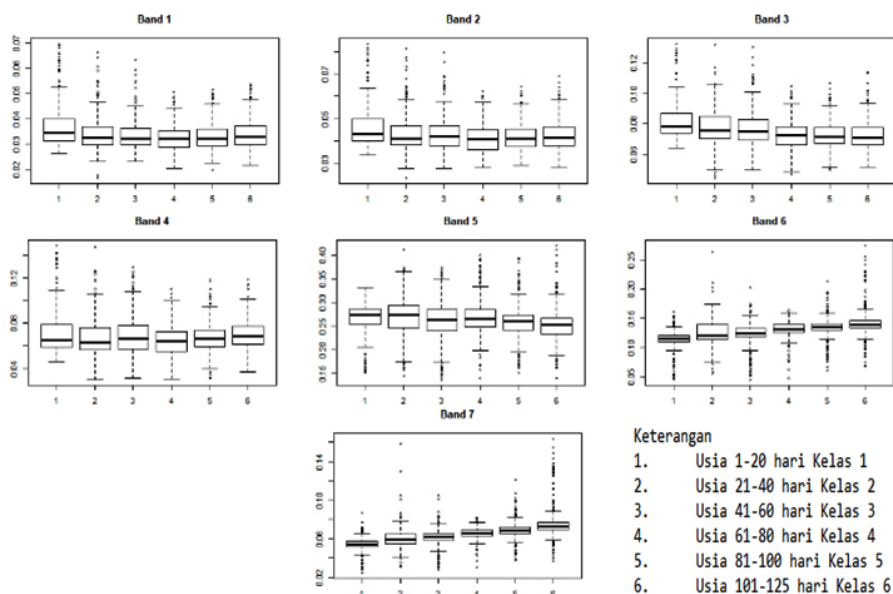
3. Tahapan prediksi
  - a. Menggunakan peta dari *google earth* batas wilayah, nilai ekstraksi *band*, dan indeks vegetasi citra *Landsat-8*, serta model dari tahapan pembentukan model
  - b. Memprediksi/klasifikasi setiap *pixel* untuk semua *pixel*.
  - c. Memprediksi varietas padi pada data baru.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Eksplorasi Data**

Reflektan warna merupakan hasil warna yang didapatkan dari citra satelit, tiap warna yang dihasilkan disebut *band*. Pada penelitian ini, peubah awal yang didapatkan dari citra Landsat-8 ialah nilai *Band* 1 hingga *Band* 7, sebaran boxplot dari nilai *band* untuk tiap kelas dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dikatakan setiap *band* membentuk suatu pola terhadap kelas umur pertumbuhan tanaman padi. Seperti pada *Band* 6 dan *Band* 7, mulai dari kelas 1 hingga kelas 6, nilai *band* cenderung naik. Namun untuk *Band* 3 dan *Band* 5, mulai dari kelas 1 hingga kelas 6, nilai *band* cenderung turun. Hal ini terjadi karena setiap kelas usia padi akan menghasilkan reflektan warna yang berbeda.



Gambar 2. Boxplot nilai Band 1 hingga Band 7

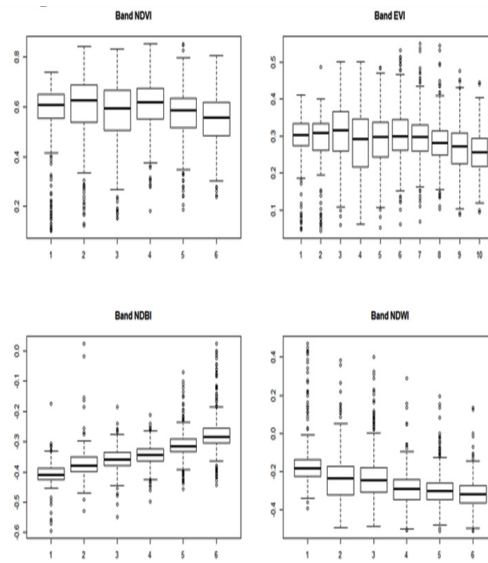
Indeks vegetasi dari umur tanaman padi pada penelitian ini menggunakan peubah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), EVI (*Enhanced Vegetation Index*), NDWI (*Normalized Difference Water Index*), dan NDBI (*Normalized Difference Built-Up Index*) untuk membedakan umur tanaman. Peubah tersebut merupakan *feature engineering* dari peubah awal, yaitu *band*. Sebaran boxplot dari nilai *band* untuk tiap kelas dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat setiap peubah indeks vegetasi membentuk suatu pola terhadap kelas umur pertanaman padi. NDVI dan EVI cenderung membuat pola kurva yang cukup landai. Hal ini terjadi karena pada saat umur pertanaman padi kelas 3 dan kelas 4 pada saat citra satelit mengambil foto sawah tersebut dalam

kondisi setelah hujan, sehingga sawah tergenang air dan mengganggu hasil reflektan warna, atau banyak data di kelas 3 atau kelas 4 yang dibuang karena tertutup awan. Faktor alam seperti hujan atau tertutup awan di luar kemampuan peneliti.

Berdasarkan informasi dari BMKG (2017) yang dipantau di Stasiun Jatiwangi, dari 27 hari pengambilan citra *Landsat-8*, hanya 10 hari yang tidak dalam kondisi hujan, 17 hari lainnya hujan, mulai dari intensitas ringan sedang sampai lebat. Faktor hujan mempengaruhi hasil citra *Landsat-8* karena dapat membuat reflektan warna yang berubah. Kondisi cuaca pada pengambilan citra *landsat* dapat dilihat pada Tabel 3.

Nilai NDBI akan naik ketika umur pertanaman padi semakin tua dan nilai NDWI akan turun pada



Gambar 3. Boxplot nilai indeks vegetasi

Tabel 3. Data hari hujan selama penelitian

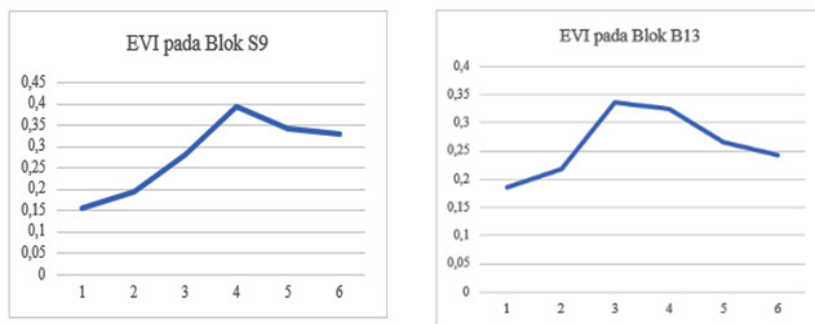
No	Tanggal	RR(Rain Rate)	Keterangan
1	5/12/2015	0	Tidak hujan
2	21/12/2015	3,5	Hujan ringan
3	6/1/2016	32,1	Hujan sedang
4	7/2/2016	35,7	Hujan sedang
5	1/3/2016	40	Hujan sedang
6	26/3/2016	68,5	Hujan lebat
7	11/4/2016	0	Tidak hujan
8	27/4/2016	10,9	Hujan sedang
9	13/5/2016	2,6	Hujan ringan
10	14/6/2016	0	Tidak hujan
11	30/6/2016	0	Tidak hujan
12	16/7/2016	0	Tidak hujan
13	1/8/2016	0	Tidak hujan
14	17/8/2016	0	Tidak hujan
15	2/9/2016	0	Tidak hujan

Tabel 3. Data hari hujan selama penelitian

Lanjutan

No	Tanggal	RR(Rain Rate)	Keterangan
16	18/9/2016	2,2	Hujan ringan
17	4/10/2016	24,8	Hujan sedang
18	20/10/2016	0	Tidak hujan
19	5/11/2016	10,1	Hujan ringan
20	7/12/2016	9	Hujan ringan
21	23/12/2016	0	Tidak hujan
22	24/1/2017	38,7	Hujan sedang
23	25/2/2017	38,8	Hujan sedang
24	13/3/2017	30,9	Hujan redang
25	29/3/2017	69,2	Hujan lebat
26	14/4/2017	3,8	Hujan ringan
27	30/4/2017	53,6	Hujan lebat

RR = Rain Rate



Gambar 4. Kurva nilai EVI dari beberapa blok

saat pertanaman padi semakin tua. Pada awal tanam, pertanaman padi masih digenangi air. Mendekati masa panen, air semakin surut. Pada awal masa tanam, tingkat kerapatan pertanaman padi masih rendah dan mendekati masa panen semakin tinggi. Dari beberapa blok sawah terlihat nilai EVI. Kurva EVI dari beberapa blok untuk tiap kelas dapat dilihat pada Gambar 4.

**Analisis Klasifikasi**

Sebelum menggunakan metode klasifikasi pada penelitian ini, dilakukan klasifikasi pada data yang tidak mengandung missing sehingga data yang digunakan 2083 baris data. Metode klasifikasi yang digunakan adalah metode *Multiclass Rotation Forest*. Kajian dilakukan dengan dua perbedaan, pertama adalah model tanpa meninjau varietas dan kedua adalah model berdasarkan 10 varietas. Kemudian dilakukan pembagian data menjadi data latih dan data uji menggunakan metode *Cross Validation*. Metode *Cross Validation* digunakan untuk memperkecil bias yang terkait dengan pengambilan contoh secara acak.

Hal yang pertama kali dilakukan pada metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* adalah penarikan

contoh acak pada 11 peubah bebas, tujuh peubah awal yaitu *Band 1* sampai *Band 7* dan empat peubah dari indeks vegetasi, selanjutnya membentuk model tanpa meninjau varietas dan model berdasarkan varietas. Tahap selanjutnya melakukan proses *looping* untuk memperoleh model dengan bantuan aplikasi R sehingga diperoleh nilai akurasi pada data umur padi. Pada model berdasarkan varietas, dari 10 varietas yang ada, model yang terbentuk hanya empat varietas. Hal ini disebabkan karena banyak data untuk tiap varietas tidak sama dan untuk beberapa varietas jumlahnya sangat sedikit. Oleh karena itu, dari 10 varietas padi hanya dapat terbentuk empat model. Jumlah data per varietas padi dapat dilihat pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa empat varietas dengan jumlah sampel terbanyak dibandingkan dengan yang lain. Varietas tersebut adalah Ciherang, Mekongga, Inpari-30, dan PB42. Selain keempat varietas tidak dapat dibuat model karena sedikitnya jumlah sampel. Ciherang dan Mekongga merupakan varietas yang paling banyak ditanam di Pulau Jawa dan Sumatra. Dari jumlah data tersebut dihasilkan lima model, yaitu model tanpa varietas, model varietas Ciherang, model varietas Mekongga, model varietas Inpari-30, dan model varietas PB42.

Data yang sudah siap dibuat model melihat akurasi dari prediksi dari model tersebut. Hasil metode klasifikasi berdasarkan nilai akurasi dari kelima model klasifikasi dengan data awal disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5 dapat dikatakan bahwa tingkat akurasi dari prediksi model yang dihasilkan dari metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* dengan data awal tanpa varietas adalah 70,57%, sedangkan pada varietas Ciherang 70,97%, pada varietas Mekongga 68,48%, pada Inpari-30 53,24%, dan pada varietas PB42 52,12%. Berdasarkan nilai akurasi dari kelima model tersebut dapat disimpulkan metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* menghasilkan nilai akurasi cukup baik, namun belum maksimal. Oleh karena itu, dibuat peubah baru, yaitu peubah interaksi antarpeubah untuk meningkatkan nilai akurasi menjadi lebih baik.

### Interaksi Antarpeubah Band

Data awal penelitian adalah *Band 1* hingga *Band 7*. Sebelum membuat interaksi antar-*band* diuji nilai

korelasi antar-*band* untuk mengetahui seberapa kuat korelasi yang terbentuk antar-*band*. Korelasi antar-*band* dapat dilihat pada Tabel 6.

Terdapat beberapa peubah yang memiliki nilai korelasi sangat tinggi, sehingga interaksi antarpeubah berpengaruh terhadap model. Interaksi antarpeubah bebas dibuat dengan cara mengalikan setiap kombinasi peubah yang terjadi, sehingga peubah bebas dari data *band* yang akan diklasifikasi menjadi 21 peubah bebas, yaitu interaksi antar-*Band 1* hingga *Band 7*. Peubah bebas yang digunakan untuk pemodelan awalnya hanya 11 kemudian bertambah menjadi menjadi 32 peubah. Hasil metode klasifikasi berdasarkan nilai akurasi dengan menambahkan interaksi antar-*band* dapat dilihat pada Tabel 7. Tingkat akurasi prediksi dari metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* dengan menambahkan interaksi adalah model tanpa varietas 75,29%, model varietas Ciherang 75,18%, model varietas Mekongga 76,23%, model varietas Inpari 30 62,70%, dan model varietas PB42 62,87. Artinya, penambahan antarpeubah

Tabel 4. Jumlah sampel berdasarkan varietas padi

Varietas padi	Jumlah sampel
Ciherang	923
Inpari-30	184
Mekongga	665
PB42	117
Inpago-3 SHS	27
Ciliwung	18
Cilamaya Muncul	23
Inpari Sidenuk	12
IR64	64
Situbagendit	51

Tabel 5. Hasil metode klasifikasi dengan data awal

No	Model	Akurasi (%)
1	Tanpa varietas	70,57
2	Varietas Ciherang	70,97
3	Varietas Mekongga	68,48
4	Varietas Inpari 30	53,24
5	Varietas PB42	52,12

Tabel 6. Korelasi antar-*band*

	<i>Band1</i>	<i>Band2</i>	<i>Band3</i>	<i>Band4</i>	<i>Band5</i>	<i>Band6</i>	<i>Band7</i>
<i>Band1</i>							
<i>Band2</i>	0,975						
<i>Band3</i>	0,883	0,958					
<i>Band4</i>	0,898	0,96	0,936				
<i>Band5</i>	-0,515	-0,61	-,618	-0,761			
<i>Band6</i>	0,095	-0,203	-0,342	-0,279	0,57		
<i>Band7</i>	0,139	0,060	-0,092	0,024	0,268	0,935	

Tabel 7. Hasil metode klasifikasi dengan interaksi antarpeubah *Band*

No	Model	Akurasi (%)
1	Tanpa Varietas	75,29
2	Varietas Ciherang	75,18
3	Varietas Mekongga	76,23
4	Varietas Inpari-30	62,70
5	Varietas PB42	62,87

band secara keseluruhan menaikkan nilai akurasi prediksi model.

Dari Tabel 5 dan 7 diketahui sebelum ditambahkan interaksi antarpeubah, metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* belum mendapatkan nilai akurasi prediksi maksimal. Setelah menambahkan interaksi antarpeubah *band* terjadi kenaikan pada nilai akurasi prediksi model. Artinya, penambahan peubah yang berpengaruh seperti interaksi antar-band meningkatkan kemampuan memprediksi umur pertanaman padi dalam skala luas di lapangan.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan metode klasifikasi *Multiclass Rotation Forest* dapat digunakan dalam menduga umur pertanaman padi dalam skala luas. Penambahan interaksi antarpeubah sangat berpengaruh karena dapat meningkatkan nilai akurasi rata-rata 7,37%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada LAPAN atas kontribusi pada penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Dr. Anang Kurnia, M.Si, dan Bapak Dr. Bagus Sartono, M.Si. atas masukannya bagi penyempurnaan nasah ilmiah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

[BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2017. Press Release Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2015-2017, Jakarta.

[CCFAS-JRC] JRC Scientific And Policy Reports. 2012. Combining Crop Models and Remote Sensing For Yield Prediction: Concepts, Applications and Challenges For Heterogeneous, Smallholder Environments, Roma: European Commission.

[Kementan] Kementerian Pertanian. 2018. Produksi padi tahun 2018, Jakarta [ID]: [Diakses pada 10 April 2019]

Abdulrachman, S., J.M Made, A. Nurwulan, , G. Indra, P. Sasmita, dan A. Guswara. 2013. Panduan Sistem Tanam Legowo. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Sukamandi.

Asgarian, A, *et al.* 2016. Crop Type Mapping in a Highly Fragmented and Heterogeneous Agricultural landscape: A case of Central Iran Using Multi-Temporal Landsat 8 Imagery. *Computers and Electronics in Agriculture* 127 : 531–540.

Azar, R., *et al.* 2016. Assessing In-Season Crop Classification Performance Using Satellite Data: A Test Case In Northern Italy. *European Journal of Remote Sensing* 49 : 361–380.

Dirgahayu, *et al.* . 2015. Litbang Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Pertumbuhan Tanaman Padi Di Lahan Sawah (Studi Kasus Pulau Kalimantan), Jakarta: Pusfatja LAPAN Hlm. 1–15.

Kuncheva, *et al.* 2007. An experimental study on rotation forest ensembles. *Lecture Notes in Computer Science*. 4472: 459-468.

Kussul, N., *et al.* 2017. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 14 (5): 778–782.

Nuarsa, et al . Spectral Characterization of Rice Field Using Multi-Temporal Landsat ETM+ Data. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences* 2 : 65-71.

Parsa, *et al.* ,. 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). *Jurnal Penginderaan jauh* 14 (1): 51–64.

Plain, S. 2017. Automatic and Adaptive Paddy Rice Mapping Using Landsat Images : Case study in Northeast China. *Science of The Total Environment* (November).

Rodriguez, *et al.* . 2006. Rotation forest: a new classifier ensemble method. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 28 (10) : 1619–1630.

You, J., et al . 2017. Deep Gaussian Process for Crop Yield Prediction Based on Remote Sensing Data. 31th AAAI Conference on Artificial Intelligence. pp.4559–4565.

Zhang, et al . 2018. An Automated Paddy Rice Extent Extraction with Time Stacks of Sentinel Data : A Case Study In Jiangnan Plain, Hubei, China. 2018 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics). pp.1–6.