

IDENTIFIKASI FASE PERTUMBUHAN PADI MENGGUNAKAN CITRA SAR (SYNTHETIC APERTURE RADAR) SENTINEL-1

Leni Suspidayanti¹, Catur Aries Rokhmana²

¹Program Magister Teknik Geomatika-Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta-55281 Telp./Faks: (0274) 513665,
e-mail: lenisuspidayanti@gmail.com

²Departemen Teknik Geodesi-Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jalan Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta-55281 Telp./Faks: (0274) 513665,
Email: caris@ugm.ac.id

(Diterima 1 April 2021, Disetujui 2 Agustus 2021)

ABSTRAK

Identifikasi fase pertumbuhan padi dilakukan untuk memperoleh informasi umur dan estimasi produksi padi. Identifikasi fase pertumbuhan tanaman padi terdiri atas tiga fase utama yaitu fase vegetatif, reproduktif, dan pematangan. Kemudian fase utama dijabarkan lebih rinci menjadi sembilan fase yaitu *seedling*, *tillering*, *stem elongation*, *panicle*, *heading*, *flowering*, *milk grain*, *dough grain*, dan *mature grain*. Pemantauan pertumbuhan padi dapat dilakukan menggunakan citra optis maupun radar. Penelitian ini menggunakan citra SAR Sentinel-1 dengan perekaman bulan November 2020 hingga Februari 2021, dan citra optis Sentinel-2. Citra SAR Sentinel-1A dapat menggambarkan pertumbuhan padi mengikuti fase tumbuh dengan mengekstraksi nilai *backscatter* dari petak sawah yang dijadikan sampel penelitian. Hasilnya menunjukkan bahwa polarisasi tunggal VH memiliki korelasi paling baik yang menggambarkan nilai *backscatter* citra dan fase pertumbuhan padi dengan korelasi (R^2) sebesar 0.77. Sedangkan algoritma *Polarization Index* (PI) memiliki korelasi (R^2) 0.56. Kombinasi citra SAR Sentinel-1A dan Sentinel-2 dengan waktu perekaman yang sama atau mendekati dimanfaatkan untuk interpretasi *training area* dalam prose klasifikasi. Kombinasi RGB citra Sentinel-1 dan Sentinel-2 yang digunakan yaitu R=S2-B4 G=S2-B3 B=S1-VH. Klasifikasi fase pertumbuhan menggunakan algoritma *random forest* dengan komposit RGB (R=VV G=VH B=VV/VH) menghasilkan akurasi sebesar 75%.

Kata kunci : *Sentinel-1, Polarization Index, Sentinel-2, Random Forest.*

ABSTRACT

Identification rice plant growth is carried out to obtain age information and estimated rice production. Detect rice plant growth consists of three main phases such as vegetative, reflective, and ripening. Then more detail to nine phase namely seedling, tillering, stem elongation, panicle, heading, flowering, milk grain, dough grain, and mature grain. The monitoring can be done using optical or SAR remote sensing. This research using time series Sentinel-1A SAR imagery which recorded in November 2020 to February 2021, and Sentinel-2 optical image. Sentinel-1A SAR imagery can describe rice plant growth following the growing phase by extracting the backscatter value from the rice fields used as research samples. The results showed that VH's single polarization had the best correlation describing the image backscatter value and rice growth phase with a correlation (R^2) of 0.77. Polarization Index (PI) algorithm has a correlation (R^2) of 0.56. Combination of Sentinel-1A and Sentinel-2 at the same or close recorded time are used to interpretation of training areas in classification process. RGB composite of Sentinel-1 and Sentinel-2 image using R=S2-B4 G=S2-B3 B=S1-VH. Rice plant growth classification using the random forest algorithm by RGB composite (R=VV G=VV B=VV/VH) and result accuracy 75%.

Keywords : *Sentinel-1, Polarization Index, Sentinel-2, Random Forest.*

1. PENDAHULUAN

Beras merupakan salah satu pangan pokok yang banyak dikonsumsi oleh penduduk Indonesia (Arifin dan Saliem, 2016). Beras berasal dari tanaman padi (*Oryza Sativa L.*) yang merupakan tumbuhan rumput-rumputan (*Gramineae*). Padi

mengalami perubahan morfologik atau fisiologik selama proses pertumbuhannya, meliputi ukuran daun, jumlah daun, laju pertumbuhan tanaman, pembentukan malai, bobot gabah, jumlah anakan, dan pengisian gabah (Makarim dan Suhartatik, 2009). *Standing Crop* (SC) merupakan performa

pada suatu tanaman yang mencakup beberapa fase pertumbuhannya yang dapat diamati pada luasan dan waktu tertentu (Bhermana *et al.*, 2016).

Perkembangan teknologi memberi pengaruh besar dalam penginderaan jauh. Penginderaan jauh dapat memberikan informasi kondisi dan sebaran lahan pertanian secara kuantitatif dan kualitatif yang dapat diamati (Shofiyati dan Agustan, 2015). Pemantauan dengan citra satelit optis tetapi seringkali terganggu oleh tutupan awan dan cuaca, sehingga kurang dapat dimanfaatkan secara optimum (Fathoni *et al.*, 2017).

SAR (*Synthetic Aperture Radar*) merupakan penginderaan jauh aktif yang dapat diinterpretasi secara mudah karena tidak terpengaruh oleh kondisi awan (Dirgahayu *et al.*, 2019). Selain itu, sistem SAR sangat cocok diterapkan pada bidang pertanian, khususnya untuk memantau tingkat produktivitas lahan persawahan karena mampu memberikan informasi kondisi tanaman dari nilai energi elektromagnetik hasil *backscatter* tanaman dan lingkungan sekitarnya (Treuhaf Siqueira, 2000). Keunggulan data SAR multitemporal memungkinkan terciptanya peta umur padi yang konsisten dan memiliki resolusi tinggi serta pemantauan informasi pertanian secara *real-time* (Phung *et al.* 2020)

Penelitian ini mengidentifikasi fase pertumbuhan tanaman padi menggunakan citra Sentinel-1A dengan cakupan wilayah Kecamatan Aikmel yang merupakan salah satu lokasi sentra pengembangan padi di Kabupaten Lombok Timur (Dinas Pertanian dan Perkebunan NTB, 2018).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem SAR

Penginderaan jauh sistem radar merupakan sistem penginderaan aktif dengan mempergunakan energi pancaran sendiri dari wahana satelit pada panjang gelombang mikro. Sensor SAR dapat dipergunakan untuk memantau permukaan bumi tanpa gangguan awan, cuaca, dan ketergantungan cahaya materi (Kushardono, 2017).

SAR memiliki sifat polarisasi yang memanfaatkan orientasi komponen gelombang elektromagnetik dari sinyal radar saat dipancarkan dan diterima sensor. Polarisasi terdiri atas dua jenis, yaitu polarisasi vertikal (V) dan polarisasi horizontal (H). Pada polarisasi searah HH atau VV, sensor memancarkan dan menerima polarisasi yang sama yaitu horizontal-horizontal atau vertikal-vertikal disebut *co-polarization* (*co-pol*). Selain polarisasi searah, jenis yang lain adalah polarisasi silang HV atau VH, yakni gelombang yang dipancarkan sensor horizontal diterima vertikal atau

sebaliknya disebut dengan *cross-polarization* atau *cross-pol* (Syam'ani, 2019).

2.2 Citra Sentinel-1

Citra Sentinel-1 merupakan data SAR yang menyediakan data secara berkelanjutan tanpa pengaruh cuaca dengan C-band pada frekuensi tengah: 5,405 GHz (ESA, 2012). Sentinel-1 beroperasi dalam empat mode akuisisi data dengan resolusi spasial dan cakupan yang berbeda yaitu *Strip Map* (SM), *Interferometric Wide Swath* (IW), *Extra Wide Swath* (EW), dan *Wave* (WV).

Mode *Interferometric Wide Swath* (IW) adalah mode akuisisi utama di atas tanah. Mode ini memiliki cakupan 250 km dengan resolusi spasial 5 m x 20 m (*single look*). Mode IW menangkap tiga sub-petak menggunakan *Terrain Observation with Progressive Scan SAR* (TOPSAR). Mode TOPSAR menggantikan mode ScanSAR konvensional dengan cakupan dan resolusi yang sama dengan ScanSAR. Mode *Interferometric Wide Swath* (IW) adalah mode operasi utama untuk sebagian besar aplikasi di darat (ESA, 2014).

2.3 Klasifikasi *Random Forest*

Random forest merupakan metode klasifikasi yang terdiri atas kumpulan pohon keputusan (Breiman, 2001). Masing-masing pohon keputusan memberikan *vote* untuk kelas tertentu (Devetyarov and Nouretdinov 2010). *Random forest* menggabungkan teknik *bagging* dan *random subspace*, sehingga menjadi pengklasifikasi ensemble teratas dalam akurasi dan kecepatan pemrosesan (Yates and Islam, 2020). *Random forest* diterapkan untuk klasifikasi penginderaan jauh *multisource* dan kumpulan data geografis karena mampu mendeteksi outlier yang berguna ketika kasus mengalami salah label (Gislason *et al.* 2006).

2.4 Pertumbuhan Padi

Pertumbuhan tanaman padi dikelompokkan menjadi 3 tahapan utama yaitu vegetatif, reproduktif, dan pematangan (Yuzugullu *et al.* 2017). Makarim dan Suhartatik (2009) menguraikan fase utama tersebut menjadi 10 tahap sebagai berikut:

1. Tahap 0 : benih berkecambah sampai muncul ke permukaan. Benih biasanya dikembahkan melalui perendaman dan diinkubasi selama 24 jam
2. Tahap 1 : Pertunasan atau bibit, yaitu sejak benih berkecambah, tumbuh menjadi tanaman muda (bibit) hingga hampir keluar anakan pertama
3. Tahap 2 : Pembentukan anakan, berlangsung sejak munculnya anakan pertama sampai pembentukan anakan maksimum. Anakan

- muncul dari tunas aksial pada buku batang dan menggantikan tempat daun serta tumbuh dan berkembang
4. Tahap 3 : Pemanjangan batang terjadi sebelum pembentukan malai atau pada tahap akhir pembentukan anakan. Anakan terus meningkat dalam jumlah dan tingginya
 5. Tahap 4 : Pembentukan malai sampai bunting. Saat malai terus berkembang bulir (*spikelets*) terlihat dan dapat dibedakan. Malai muda meningkat dalam ukuran dan berkembang ke atas di dalam pelepah daun bendera menyebabkan pelepah daun menggebung (bunting).
 6. Tahap 5 : *Heading* (keluar bunga atau malai), dikenal dengan tahap keluar malai, ditandai dengan munculnya malai dari pelepah daun bendera dan terus berkembang sampai keluar seutuhnya dari pelepah daun
 7. Tahap 6 : Pembungaan (anthesis), dimulai ketika benang sari bunga yang paling ujung pada tiap cabang malai telah keluar dari bulir dan terjadi proses pembuahan
 8. Tahap 7 : Gabah matang susu yaitu gabah mulai berisi dengan cairan kental berwarna putih susu. Bila gabah ditekan, maka cairan tersebut akan keluar. Malai hijau dan mulai merunduk. Pelayuan pada dasar anakan berlanjut. Daun bendera dan dua daun di bawahnya tetap hijau
 9. Tahap 8 : *dough grain* (gabah setengah matang) yaitu isi gabah yang menyerupai susu berubah menjadi gumpalan lunak dan akhirnya mengeras. Gabah pada malai mulai menguning.
 10. Tahap 9 : Gabah matang penuh. Setiap gabah matang, berkembang penuh, keras, dan berwarna kuning. Daun bagian atas mengering dengan cepat dan sejumlah daun mati terakumulasi pada bagian dasar tanaman

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 10 data multitemporal citra Sentinel-1A GRD (*Ground Range Detected*) dengan mode pengukuran *Interferometric Swath* (IW) perekaman bulan November 2020 hingga Februari 2021.

Preprocessing atau koreksi citra merupakan tahapan awal pengolahan data citra Sentinel-1A GRD. Standar pengolahan meliputi tujuh tahapan (Filipponi, 2019). Tahap pertama *Apply Orbit File*, bertujuan untuk memberikan informasi posisi dan kecepatan satelit yang lebih akurat. Tahap selanjutnya melakukan *Thermal Noise Removal* (TNR) untuk mengurangi *noise* pada tekstur *inter-sub swath* dan menormalkan sinyal *backscatter* pada seluruh *scene*. Kemudian melakukan *Border Noise*

Removal (BNR) untuk mengurangi *noise* dan data invalid pada tepi citra. Tahap selanjutnya yaitu *calibrate* yang bertujuan untuk mengubah nilai piksel menjadi nilai *backscatter* yang terkalibrasi secara radiometrik (*sigma nought*). Kemudian melakukan *speckle filtering* yang bertujuan meningkatkan kualitas citra dengan cara mengurangi *speckle*. Penelitian ini menggunakan filter *Refine Lee* untuk mempermudah interpretasi visual dan pengenalan informasi tekstur. Selanjutnya melakukan *Range Doppler Terrain Correction* untuk koreksi distorsi geometris yang disebabkan oleh pengaruh topografi. Proses koreksi pada *terrain* pada SNAP merupakan implementasi dari metode ortorektifikasi. Dalam penelitian ini menggunakan data DEM SRTM 1sec yang diunduh secara otomatis pada aplikasi SNAP. Kemudian *Conversion to dB* untuk merubah koefisien *backscatter* menjadi nilai dB pada polarisasi VV dan VH.

Tahap setelah koreksi citra yaitu melakukan analisis fase tumbuh padi pada citra dengan polarisasi tunggal (VH, VV) dan algoritma *Polarization Index* (PI) = 1 - NDPI, dimana NDPI (*Normalized Difference Polarization Index*) = (VV-VH) / (VV+VH). Kemudian melakukan komposit citra RGB untuk mempermudah interpretasi citra radar. Komposit RGB dibuat dengan komposisi polarisasi VH pada kanal merah, VV pada kanal hijau, dan rasio VV/VH pada kanal biru.

Tahap selanjutnya melakukan kombinasi citra SAR Sentinel-1 dan citra optis Sentinel-2 yang bertujuan untuk mempermudah interpretasi ketika membuat *training area*. Kemudian melakukan klasifikasi fase pertumbuhan padi dengan metode *random forest*.

Tahap akhir yaitu melakukan uji akurasi dengan membandingkan hasil klasifikasi dan data *ground truth* berupa titik sampel. Data *ground truth* diperoleh dari survei lapangan yang dilakukan secara temporal mengikuti waktu perekaman citra. Penentuan fase pertumbuhan padi di lapangan ditentukan dengan melihat karakteristik tanaman dan diperlukan sebagai data tambahan dalam melakukan analisis.

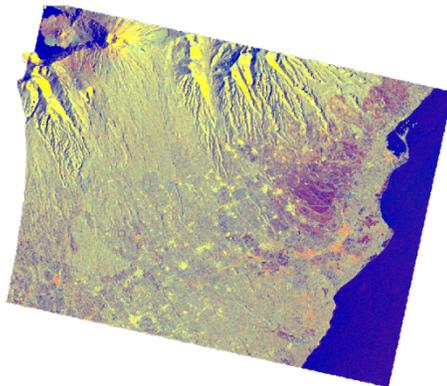
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deteksi Fase Tumbuh dengan *Backscatter*

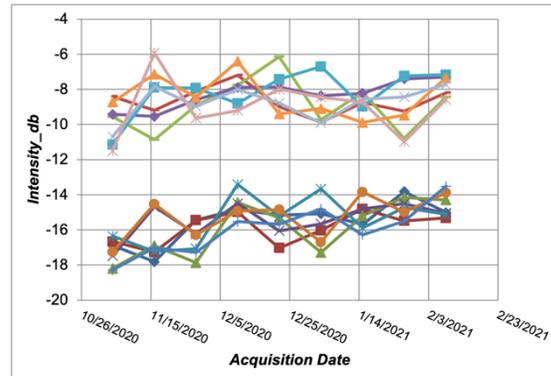
Deteksi setiap fase pertumbuhan padi ditentukan berdasarkan perubahan nilai *backscatter* dan karakteristik citra yang telah dikomposit pada Sentinel-1A secara *time series*. Fase pertumbuhan padi dijelaskan oleh IRRI (*International Rice Research Institute*) pada tabel berikut.

Tabel 1. Fase pertumbuhan padi

Fase Utama	Fase Pertumbuhan Padi
	<i>Seedling</i> yaitu penanaman bibit pada lahan
Vegetatif	<i>Tillering</i> yaitu bibit mulai tumbuh dan daun bertambah banyak
	<i>Stem elongation</i> , terjadi perubahan tinggi dan daun mulai menutup
Reproduktif	<i>Panicle</i> yaitu padi mulai bunting atau berisi
	<i>Heading</i> yaitu malai mulai keluar
	<i>Flowering</i> yaitu malai berkembang dan keluar bunga
Pematangan	<i>Milk grain</i> yaitu butiran padi mulai berisi dengan cairan seperti susu
	<i>Dough grain</i> yaitu biji padi mulai mengeras dan daun masih berwarna hijau
	<i>Mature grain</i> yaitu tahap pemasakan biji padi sampai siap panen



Gambar 1. Komposit citra Sentinel-1 RGB (VV,VH, VV/VH)

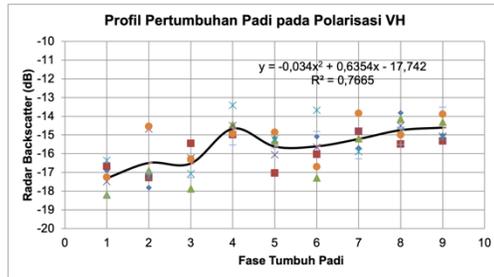


Gambar 2. Grafik nilai *backsactter* VH dan VV dari titik sampel dengan *time series*

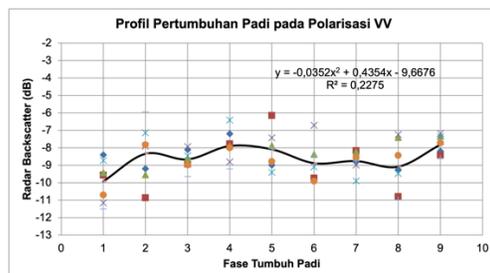
Gambar 2 menyajikan profil pertumbuhan padi berdasarkan nilai *Backscatter* pada polarisasi VH dan VV. Grafik tersebut menunjukkan bahwa *backscatter* pada polarisasi VV lebih tinggi dari polarisasi VH untuk setiap waktu pengamatan.

Tabel 2. Identifikasi pertumbuhan padi berdasarkan citra Sentinel-1

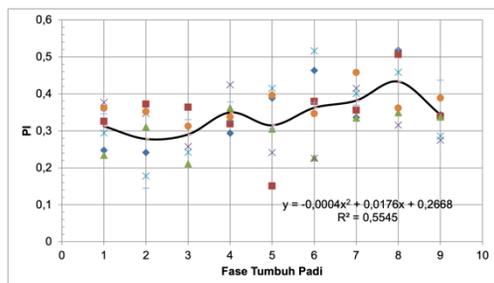
Tanggal Perekaman	Fase Pertumbuhan	RGB (VV, VH, VV/VH)
4 November 2020	<i>Seedling</i>	
16 November 2020	<i>Tillering</i>	
28 November 2020	<i>Tillering</i>	
10 Desember 2020	<i>Stem Elongation</i>	
22 Desember 2020	<i>Panicle</i>	
3 Januari 2021	<i>Heading</i>	
15 Januari 2021	<i>Flowering</i>	
27 Januari 2021	<i>Milk Grain</i>	
8 Februari 2021	<i>Dough Grain</i>	



Gambar 3. Profil pertumbuhan padi pada polarisasi VH Citra Sentinel-1



Gambar 4. Profil pertumbuhan padi pada polarisasi VV Citra Sentinel-1



Gambar 5. Profil pertumbuhan padi dengan algoritma Polarization Index (PI)

Perubahan nilai *backscatter* dan kondisi pada citra RGB memberikan informasi fase pertumbuhan pada tanaman padi. Referensi lain untuk penentuan fase pertumbuhan yaitu informasi penanaman padi. Berdasarkan gambar 3 dan 4, nilai *backscatter* terendah pada kondisi awal tanam dengan sawah yang tergenang air dan tegakan tanaman yang masih pendek. Pada polarisasi VH dan VV, fase 1 sampai 3 menunjukkan perubahan yang sama dengan peningkatan nilai *backscatter* seiring meningkatnya anakan dan tinggi tanaman. Fase pertumbuhan padi polarisasi VH, secara umum menunjukkan tren atau profil yang meningkat dari awal masa tanam hingga mencapai puncak pada fase pematangan. Hal ini sebagaimana dalam penelitian Phung *et al.* (2020) yang menunjukkan bahwa nilai *backscatter* data SAR band-C mencapai maksimum pada tahap pematangan karena hamburan sudut dari struktur tanaman dan permukaan air. Akan tetapi,

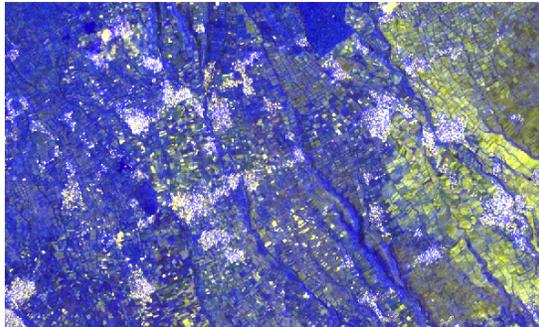
mengalami peningkatan pada fase 4 dimana padi mulai berisi atau bunting dan menurun kembali pada fase 5 saat malai mulai keluar. Hal ini dapat dipengaruhi oleh percampuran piksel sawah yang ditanami padi (Phung *et al.* 2020). Profil pertumbuhan padi pada polarisasi VV cenderung lebih berfluktuasi dari fase penanaman hingga pematangan. Kondisi ini serupa dengan penelitian lain oleh Dirgahayu dan Parsa (2019) bahwa polarisasi VV lebih sensitif terhadap perubahan kondisi basah tanaman, sehingga lebih sulit menggunakan VV sebagai parameter untuk mendeteksi fase tanaman padi.

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan profil pertumbuhan padi pada polarisasi tunggal VH dan VV, sedangkan gambar 5 menunjukkan profil pertumbuhan padi dengan algoritma *Polarization Index* (PI). Nilai *backscatter* berdasarkan blok padi yang dijadikan sampel untuk polarisasi VH adalah -18 dB sampai -13 dB dan -11 dB sampai -5 dB untuk polarisasi VV. Sedangkan nilai PI antara 0.1 sampai 0.5.

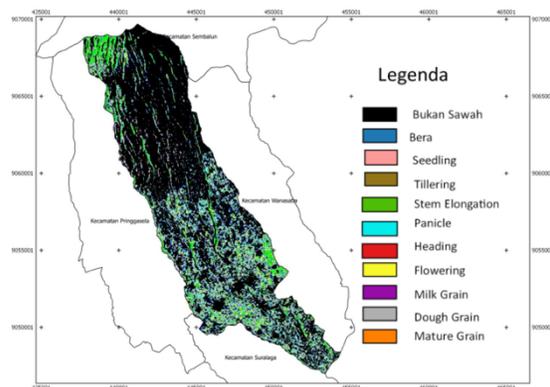
Analisis regresi model kuadrat pada polarisasi tunggal VH memiliki korelasi (R^2) yang menunjukkan hubungan nilai *backscatter* dan fase tumbuh padi sebesar 0.77 dengan persamaan, $y = -0.034x^2 + 0.6354x - 17.742$. Polarisasi tunggal VV memiliki korelasi (R^2) sebesar 0.23 dengan persamaan $y = -0.0352x^2 + 0.4354x - 9.6676$, sedangkan dengan dengan algoritma PI memiliki korelasi sebesar 0,56 dengan persamaan $y = -0.0004x^2 + 0.0176x + 0.2668$, dimana x merupakan fase tumbuh padi dan y adalah nilai *backscatter*. Penelitian Agustan *et al.* (2019) menunjukkan korelasi nilai *backscatter* VH dengan data lapangan sebesar 0.758 sedangkan polarisasi VV sebesar 0.537.

4.2 Klasifikasi Fase Pertumbuhan Padi

Penentuan *training area* dengan interpretasi visual pada citra Sentinel-1. Dalam penelitian ini, dilakukan kombinasi antara citra Sentinel-1 dan citra optis Sentinel-2 untuk membantu proses penentuan *training area* berdasarkan karakteristik citra. Klasifikasi fase pertumbuhan menggunakan metode *random forest* dengan *training area* sebanyak 9 kelas yang mewakili setiap fase.



Gambar 5. Kombinasi citra dengan komposit RGB (R=S2-B4 G=S2-B3 B=S1-VH).



Gambar 6. Hasil klasifikasi metode *random forest*

Tingkat kesesuaian hasil klasifikasi dibandingkan dengan titik sampel pengamatan lapangan pada waktu yang sama dengan perekaman citra. Hasil validasi terdapat pada tabel berikut.

Tabel 3. Validasi hasil klasifikasi citra dengan data lapangan

Titik	Koordinat		Klasifikasi Citra	Pengamatan Lapangan	Validasi
	X	Y			
P1	447077.96	9052600.88	Stem Elongation	Seeding	Tidaksesuai
P2	447090.66	9052564.28	Dough Grain	Dough Grain	sesuai
P3	447072.84	9052561.26	Bukan Sawah	Seeding	Tidaksesuai
P4	446927.83	9054015.43	Heading	Heading	Sesuai
P5	446231.44	9053735.72	Bera	Bera	sesuai
P6	447795.285	9051781.517	Stem Elongation	Stem Elongation	sesuai
P7	444699.926	9055460.566	Panicle	Panicle	Sesuai
P8	447148.53	9052385.32	Stem Elongation	Stem Elongation	sesuai
P9	447178.711	9052368.465	Tillering	Dough Grain	Tidaksesuai
P10	447271.633	9052324.603	Bukan Sawah	Seeding	Tidaksesuai
P11	447315.931	9053120.57	Stem Elongation	Stem Elongation	sesuai
P12	447202.493	9053216.461	Stem Elongation	Stem Elongation	Sesuai
P13	446942.354	9052429.901	Bera	Bera	Sesuai
P14	446868.667	9052612.333	Stem Elongation	Stem Elongation	sesuai
P15	446776.384	9052634.411	Milk Grain	Milk Grain	Sesuai
P16	446996.326	9052546.003	Seeding	Seeding	sesuai
P17	446722.388	9052677.581	Panicle	Panicle	Sesuai
P18	447372.33	9052022.897	Dough Grain	Dough Grain	sesuai
P19	447444.921	9051922.437	Bera	Bera	sesuai
P20	446427.239	9052979.692	Tillering	Seeding	Tidaksesuai

Berdasarkan hasil uji terhadap 20 titik sampel, 15 titik dinyatakan sesuai dan 5 titik tidak sesuai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa identifikasi pertumbuhan padi dengan citra Sentinel-

1 polarisasi tunggal VH dapat menggambarkan profil fase pertumbuhan padi, karena memiliki korelasi paling baik yaitu 0.77.

Klasifikasi menggunakan metode *random forest* dengan validasi data lapangan memperoleh akurasi sebesar 75%.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membedakan tanaman padi dan bukan padi berdasarkan karakteristik citra maupun perubahan nilai *backscatter* secara multitemporal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima Kasih kepada European Space Agency (ESA) Copernicus yang telah menyediakan data Citra Satelit Sentinel-1A dan Sentinel-2 serta perangkat lunak SNAP *opensource*.

DAFTAR PUSTAKA

Agustan *et al.* 2019. "Sentinel-1 Dual-Polarization Data Analysis to Identify Paddy Growth Stages in Indramayu District" *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XX 2015*

Anugerah Indah Lestari, and Dony Kushardono. 2018. "Potensi Data Satelit Radar X- Band dan C- Band Untuk Pemantauan Lahan Sawah Dan Fase Pertumbuhan Padi." IX(March).

Arifin, Mewa, and Handewi P. Saliem. 2016. "Pola Konsumsi Pangan Pokok Di Beberapa Propinsi Di Indonesia." (3).

Bhermana, Sri Agustini, and Sandis W.P. 2016. "Verifikasi Lapangan Untuk Menilai Akurasi Model Standing Crop Padi Sawah Melalui Integrasi Data Satelit Resolusi Tinggi Dan Menengah." <http://kalteng.litbang.pertanian.go.id/ind/inde x.php/publikasi-mainmenu-47-47/teknologi/576-verifikasi-lapangan-untuk-menilai-akurasi-model-standing-crop-padi-sawah-melalui-integrasi-data-satelit-resolusi-tinggi-dan-menengah> (February 25, 2021).

Breiman, Leo. 2001. "Random Forests." *Machine Learning*: 5–32.

Devetyarov, Dmitry, and Ilia Nouretdinov. 2010. "Prediction with Confidence Based on a Random Forest Classifier Dmitry." *IFIP International Federation for Information Processing* 109(7): 37–44.

Dirgahayu, D., I. M. Parsa, and S. Harini. 2019. "Detection Paddy Field Using Dual Polarization SAR Sentinel-1 Data." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 280(1).

- Dirgahayu, Dede, and I Made Parsa. 2019. "Detection Phase Growth of Paddy Crop Using SAR Sentinel-1 Data Detection Phase Growth of Paddy Crop Using SAR Sentinel-1 Data."
- ESA. 2012. 1 ESA Special Publication *ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services*.
- ESA. 2014. "Sentinel-1 Data Access and Products." (October).
- Fathoni, Mohammad Naufal, Galdita Aruba Chulafak, and Dony Kushardono. 2017. "Kajian Awal Pemanfaatan Data Radar Sentinel-1 Untuk Pemetaan Lahan Baku Sawah Di Kabupaten Indramayu Jawa Barat." *Seminar Nasional Penginderaan jauh ke-4*: 179–86.
- Filipponi, Federico. 2019. "Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow †." : 1–4.
- Gislason, Pall Oskar, Jon Atli Benediktsson, and Johannes R. Sveinsson. 2006. "Random Forests for Land Cover Classification." *Pattern Recognition Letters* 27(4): 294–300.
- IRRI (International Rice Research Institute). Diakses 1 April 2021. www.knowledgebank.irri.org/docs/rice-standard-evaluation-system
- Kushardono, Dony. 2017. IPB Press *Klasifikasi Digital Pada Penginderaan Jauh*. Cetakan 1. ed. Atika Mayang Sari. Bogor.
- Makarim, A. Karim, and E. Suhartatik. 2009. "Morfologi Dan Fisiologi Tanaman Padi." : 297–330.
- Mataram, Dinas Pertanian dan Perkebunan Nusa Tenggara Barat dan Fakultas Pertanian Universitas. 2018. *Laporan Akhir*.
- Phung, Hoang-phi *et al.* 2020. "Monitoring Rice Growth Status in the Mekong Delta, Vietnam Using Multitemporal Sentinel-1 Data." 14(1).
- Shofiyati, Rizatus, and Agustan. 2015. "Aplikasi SAR Polarimetri Untuk Identifikasi Variasi Perubahan Padi Pada Lahan Sawah Pasang Surut." (8): 35–41.
- Syam'ani. 2019. "Dasar Dasar Teknologi SAR." <https://ppiig.ulm.ac.id/2019/06/23/dasar-dasar-teknologi-sar/> (January 13, 2021).
- Treuhaft, Robert N, and Paul R Siqueira. 2000. "Vertical Structure of Vegetated Land Surfaces from Interferometric and Polarimetric Radar." 35(1): 141–77.
- Wulandari, Baiq Arasya, and Lalu Muhammad Jaelani. 2019. "Identifikasi Fase Pertumbuhan Tanaman Jagung Menggunakan Citra SAR Sentinel-1A (Studi Kasus :)" (April 2018): 52–59.
- Yates, Darren, and Md Zahidul Islam. 2020. "FastForest: Increasing Random Forest Processing Speed While Maintaining Accuracy." *Information Sciences* 557: 130–52. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.12.067>.
- Yuzugullu, Onur *et al.* 2017. "Determining Rice Growth Stage with X-Band SAR: A Metamodel Based Inversion." *Remote Sensing* 9(5).