

## Deteksi Ekspansi Padi pada Lanskap Hutan di Taman Nasional Ujung Kulon, Indonesia Menggunakan Algoritma RF dan Sentinel-2 Multispectral Instrumen

Ratu Aprillya Wandani<sup>1,2\*</sup>, Rahmat Asy<sup>3</sup> Ari<sup>1,2</sup>, Yudi Setiawan<sup>1,2</sup>, Anggodo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>IPB University

<sup>2</sup>Sustainable Science Research Student Association (IPB SSRS Association)

<sup>3</sup>Balai Taman Nasional Ujung Kulon

Email: [ratuwandani@apps.ipb.ac.id](mailto:ratuwandani@apps.ipb.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.32528/nms.v1i2.64>

\*Correspondensi: Ratu Aprillya Wandani

Email: [ratuwandani@apps.ipb.ac.id](mailto:ratuwandani@apps.ipb.ac.id)

Published: Maret, 2022



**Copyright:** © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstrak:** Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) merupakan taman nasional tertua yang berada di Pulau Jawa dan diresmikan sebagai salah satu warisan dunia oleh UNESCO untuk melindungi satwa terancam punah yaitu badak jawa (*Rhinoceros sondaicus*). Akan tetapi, adanya area pertanian padi milik masyarakat setempat di dalam kawasan TNUK yang merupakan salah satu ancaman yang dapat mengakibatkan terfragmentasinya kawasan hutan TNUK. Hal ini diproyeksikan akan berdampak terhadap upaya perlindungan habitat badak jawa serta satwa terancam punah lainnya. Oleh karena itu, teknologi geospasial dilibatkan dalam proses identifikasi area pertanian di dalam kawasan konservasi TNUK. Pada penelitian ini menggunakan sumber citra Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) dan proses analisisnya melalui platform berbasis cloud computing Google Earth Engine (GEE). Area pertanian diidentifikasi menggunakan algoritma machine learning berupa Random Forest (RF) dan algoritma Indeks seperti MNDVI, EVI, SAVI, IBI, ARVI, SLAVI, NDBI, LSWI, MNDWI, dan ANDWI. Klasifikasi menunjukkan bahwa terdapat 1.556,82 ha (2,54%) lahan pertanian padi milik masyarakat yang tumpang tindih dengan batas kawasan hutan konservasi TNUK. Nilai akurasi yang didapatkan dari integrasi data geospasial ini berkisar di angka 93,00 (OA) dan 0,87 (KS) sehingga dapat mengestimasi luasan ekspansi area pertanian dengan tepat. Area pertanian padi ini menjadi permasalahan yang sangat serius terutama pihak TNUK dan masyarakat setempat. Oleh karena itu, permasalahan ini membutuhkan solusi yang mempertimbangkan fungsi dari taman nasional dan kesejahteraan masyarakat setempat terutama para petani di dalam kawasan TNUK. Diharapkan dari penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah setempat dan sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya.

**Keywords:** TNUK; Pertanian padi; Geospasial; Random Forest; Indeks

### PENDAHULUAN

Taman Nasional menurut Undang-Undang RI No. 5 tahun 1990 merupakan kawasan pelestarian alam yang mempunyai ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budaya, pariwisata, dan rekreasi. Menurut National Park Commission of IUCN, taman nasional merupakan kawasan alami atau suatu kawasan yang dekat dengan alam yang diperuntukkan untuk melindungi proses ekologi skala besar yang didalamnya terdapat berbagai jenis spesies tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya; serta untuk menunjang kepentingan ilmu pengetahuan, spiritual, pendidikan, rekreasi dan pariwisata. Taman nasional menurut Curry (2009) definisinya telah ditetapkan oleh IUCN sebagai salah satu dari tujuh jenis kawasan lindung yang memerlukan jenis pengelolaan tertentu menurut klasifikasinya. Menurut MacKinnon (1993) taman nasional merupakan kawasan yang diperuntukkan bagi kehidupan perlindungan kawasan alami dan keindahan pemandangan serta memiliki nilai ilmiah. Taman nasional didirikan dengan tujuan untuk melindungi lingkungan alam serta satwa liar, terutama yang dapat mewakili identitas negara (Carruthers, 2009).

Upaya-upaya perlindungan kawasan hutan terutama pada hutan bestatus/ hutan konservasi (HK) di Indonesia tidak selalu berjalan dengan mulus. Terdapat banyak permasalahan yang terjadi pada hutan konservasi khususnya taman nasional di Indonesia (Margono et al. 2014). Permasalahan yang sering dihadapi oleh setiap taman nasional di negara ini merupakan permasalahan kita bersama yang tidak dapat dibiarkan begitu saja. Hal ini dikarenakan berhubungan dengan perekonomian masyarakat sekitar taman nasional. Masyarakat di wilayah ini umumnya merupakan masyarakat yang selalu bergantung hidupnya terhadap sumberdaya hutan di dalam taman nasional. Selain itu, area pertanian di sekitar batas merupakan salah satu ancaman bagi upaya perlindungan kawasan hutan taman nasional. Beberapa sumber

menyatakan bahwa area pertanian milik masyarakat sekitar TN merupakan salah satu ancaman yang dapat mengakibatkan terfragmentasinya kawasan hutan (Yamamoto et al. 2019). Hal ini menyebabkan di Pulau Jawa kehilangan kawasan hutan yang disertai dengan menurunnya tingkat biodiversitasnya (Nijman 2013; Tsujino et al. 2016).

Padi merupakan salah satu produk pertanian yang menjadi makanan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia (Kontgis et al. 2015). Dong dan Xiao (2016) mengungkapkan bahwa pertanian padi memainkan peran penting dalam permasalahan lingkungan termasuk penggunaan air, perubahan iklim, dan penularan penyakit. Pada umumnya, Xiao et al. (2006) menjelaskan bahwa pertanian milik masyarakat ditanam di berbagai lanskap. Hal ini memerlukan kegiatan pemantauan area untuk mengontrol ekspansi pertanian di lanskap yang tidak diperuntukan untuk area pertanian itu sendiri. Hingga sekarang ini, pemantauan distribusi pertanian padi dapat dilakukan menggunakan teknologi geospasial. Joshi et al. (2019) menjelaskan bahwa integrasi data spasial pada pemantauan tanaman padi sangat penting karena memberikan banyak keuntungan. Di akhir abad ke-19 dan awal abad ke-20, berbagai satelit pembawa sensor pemantauan permukaan bumi diluncurkan dan dipergunakan terutama pada sektor pertanian. Terdapat berbagai jenis satelit yang sering digunakan oleh berbagai penelitian sebelumnya misalnya menggunakan satelit Sentinel (Cai et al. 2019), Landsat (Chong et al. 2020), PALSAR (Torbick et al. 2017).

Algoritma indeks merupakan algoritma yang sering dilibatkan dalam karakterisasi tutupan lahan dengan memanfaatkan panjang gelombang yang terbaca oleh sensor satelit. Pada abad ke-19, terdapat berbagai indeks diluncurkan untuk membantu mengidentifikasi vegetasi di permukaan bumi. Misalnya saja pada penelitian Aprilianti et al. (2021) yang melibatkan algoritma indeks NDVI, SAVI, EVI, ARVI, SLAVI, dan GNDVI untuk identifikasi dan klasifikasi vegetasi pada tutupan lahan di Kab. Bogor. Lainnya yaitu, penelitian Ranti et al. (2022) yang menggunakan algoritma indeks NDVI, NDWI, EVI, SAVI, ARVI, SLAVI, IBI, GNDVI, DVI, RVI, IRECI, MNDWI, LSWI, AVI, BSI, SARVI, VARI, dan NDBI untuk menganalisis hutan kota di Kawasan Perkotaan Jabodetabek. Pada indeks ini, terdapat kombinasi lebih dari dua kanal yang tersusun dari kanal-kanal yang memiliki tingkat sensitivitas dari tutupan lahan yang akan diidentifikasi. Kanal-kanal (band) tersebut berasal dari citra Sentinel-2 yang merupakan salah satu citra resolusi menengah (sedang) dan sering dipakai dalam pemantauan permukaan bumi.

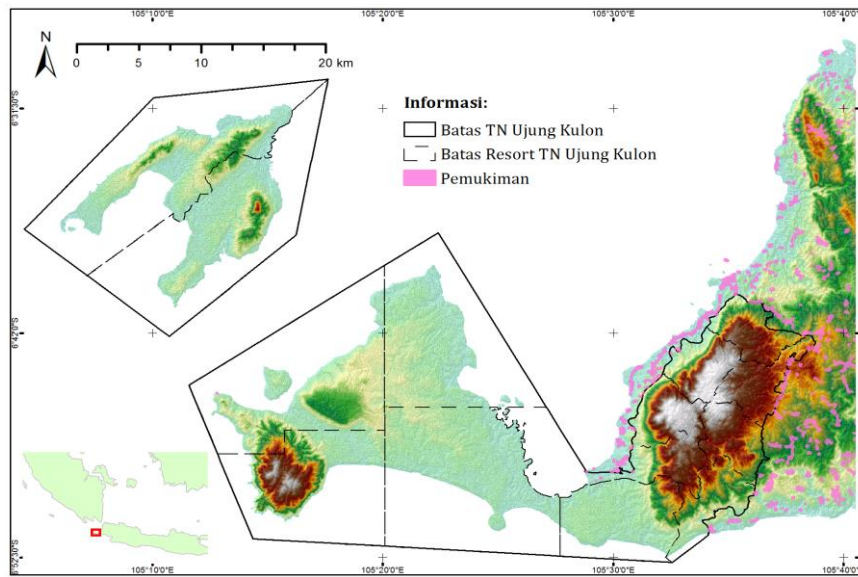
Pemetaan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengelompokkan data dari sekumpulan wilayah geografis dengan memvisualisasikan penyebaran suatu daerah yang mencakup kondisi tertentu dengan akurat dalam penggunaan skala yang memiliki individual khusus (Santoso dan Nasir, 2021). Pemetaan lahan pertanian bertujuan memberikan data informasi mencakup spatial terkait kondisi, luas, kepemilikan lahan pertanian yang dapat digunakan oleh petani, kelompok tani, pemerintah dengan tujuan mengetahui kebutuhan bahan baku untuk menganalisis kegiatan pertanian dari hulu ke hilir (Santoso et al. 2020). Zhao et al. (2021) menjelaskan pemetaan lahan pertanian sangat penting untuk memahami dan menilai kondisi lingkungan ketahanan pangan, perubahan iklim, penularan penyakit, dan penggunaan air di tingkat regional, nasional maupun global. Teknologi geospasial telah berkembang hingga kini, dan menawarkan berbagai kemudahan dan kemampuan analisis. Misalnya saja pada platform analisis geospasial yang diinisiasi oleh perusahaan Google yaitu Google Earth Engine. Beberapa penelitian menjelaskan bahwa platform ini memiliki berbagai kemampuan analisis geospasial yang tidak dimiliki oleh platform ataupun software lainnya. Mutanga dan Kumar (2019) menjelaskan bahwa platform ini dapat digunakan segala aktivitas pada berbagai sektor yang memerlukan informasi spasial. Pada platform ini juga terintegrasi dengan berbagai citra satelit misalnya Sentinel, Landsat, ALOS (Kumar dan Mutanga, 2018). Terdapat penelitian sebelumnya yang melibatkan teknologi spasial GEE untuk memantau tanaman padi misalnya pada penelitian Singha et al. (2019) yang memantau tanaman padi di Bangladesh menggunakan data Sentinel-1 SAR.

Penerapan teknologi geospasial untuk proses deteksi tanaman padi merupakan salah satu aktivitas dalam menunjukkan upaya-upaya pemantauan kawasan tutupan hutan di sekitar taman nasional. Hal ini membuat informasi kawasan pertanian tradisional sekitar hutan ini sangatlah berguna. Oleh karena itu, penelitian mengenai deteksi ekspansi pertanian padi di Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) dilakukan untuk menghimpun memantau distribusi pertanian padi milik masyarakat di daerah penyangga taman nasional pada tahun 2021. Diharapkan dari penelitian dapat memberikan informasi yang dapat berguna bagi kebijakan pemerintah setempat dan juga penelitian selanjutnya.

## METODE

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini mengambil studi kasus pada kawasan pertanian milik masyarakat Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten (Gambar 1). Penentuan lokasi studi berlandaskan adanya aktivitas pertanian yang tumpang tindih dengan kawasan hutan konservasi Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK). Proses pemantauan kawasan pertanian berlangsung selama dua bulan yaitu pada bulan November 2021 - Desember 2021.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

**Sumber Data**

Penelitian ini menggunakan data utama yang berasal dari satelit Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI). Citra satelit ini merupakan salah satu citra beresolusi spasial sedang dengan ukuran pixelnya yaitu 10 - 60 meter (Drusch et al. 2012; Gascon et al. 2014). Citra Sentinel-2 MSI (S2 MSI) memiliki 13 kanal (*band*) yang terbagi berdasarkan panjang gelombang tertentu. Terdapat 13 kanal yang terdiri dari kanal-kanal yang memiliki sensitivitas terhadap aerosol, klorofil, hingga kandungan air pada permukaan bumi (Spoto et al. 2012). Citra ini diproses melalui platform berbasis *cloud computing* yaitu Google Earth Engine. Input citra dilakukan dengan mempertimbangkan persentase awan dan ketersediaan citra pada tahun 2021.

**Table 1.** Daftar band pada citra Sentinel-2 MSI

Nomor kanal	Deskripsi kanal ( <i>band</i> )	Rentan panjang gelombang (nm)	Bandwidth (nm)	Resolusi(m)
B1	Coastal aerosol	433 – 453	20	60
B2	Blue	458 – 523	65	10
B3	Green	543 – 578	35	10
B4	Red	650 – 680	30	10
B5	Red-edge 1 (RE1)	698 – 713	15	20
B6	Red-edge 2 (RE2)	733 – 748	15	20
B7	Red-edge	773 – 793	20	20
B8	Near infrared (NIR)	785 – 900	115	10
B8a	Near infrared narrow (NIRn)	855 – 875	20	20
B9	Water vapour	935 – 955	20	60
B10	Shortwave infrared/Cirrus	1360 – 1390	30	60
B11	Shortwave infrared 1 (SWIR1)	1565 – 1655	90	20
B12	Shortwave infrared 2 (SWIR2)	2100 – 2280	180	20

**Analisis Spektral menggunakan Algoritma Indeks**

Indeks dilibatkan dalam penelitian ini untuk mempermudah proses penerjemahan panjang gelombang yang dipantulkan oleh permukaan bumi dan diterima oleh sensor satelit. Terdapat 11 indeks yang digunakan dalam penelitian ini dan terdiri dari tiga jenis indeks yaitu indeks vegetasi, air dan bangunan. yang digunakan untuk menerjemahkan karakteristik panjang gelombang yang dipantulkan oleh permukaan bumi (Rees, 1999). Tentu keterlibatan indeks ini penting untuk proses klasifikasi jenis penggunaan lahan di permukaan bumi.

Beberapa indeks dilibatkan dan dipilih berdasarkan fungsi dan tujuan khusus yang sesuai dengan fisiologi tanaman padi. Indeks-indeks yang digunakan tersebut disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** List of indexes involved

No	Method	Formula	Reference
1	Modified Normalized Difference Vegetation Index (MNDVI)	$MNDVI = (Red\ Edge\ 2 - Red\ Edge\ 1) / (Red\ Edge\ 2 + Red\ Edge\ 1)$	Rouse jr. et al. 1974
2	Enhanced Vegetation Index (EVI)	$EVI = G ((NIR - Red) / (NIR + C1 \times Red - C2 \times Blue + L))$	Huete et al., 2002
3	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	$SAVI = 1.5 (NIR - Red) / (NIR + Red + 0.5)$	Huete 1988
4	Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	$ARVI = (NIR - (Red - (Blue - Red))) / NIR + (Red - (Blue - Red))$	Kauffman dan Tanre 1992
5	Specific Leaf Area Vegetation Index (SLAVI)	$SLAVI = NIR / (Red + SWIR)$	Lymburner et al., 2000
6	Index-Based Built-up Index (IBI)	$IBI = ((NIR)/NIR + Red) + ((Green)/Green + SWIR1)$	Xu 2008
7	Normalized Difference Built-up Index (NDBI)	$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$	Zha et al. 2003
8	Normalized difference water index (ANDWI)	$ANDWI = (Blue + Green + Red - NIR - SWIR1 - SWIR2) / (Blue + Green + Red + NIR + SWIR1 + SWIR2)$	Rad et al. 2021
9	Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)	$MNDWI = (Green - SWIR1) / (Green - SWIR1)$	Xu 2006
10	Land Surface Water Index (LSWI)	$LSWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$	Xiao et al., 2002

### Algoritma Klasifikasi

Salah satu produk machine learning adalah algoritma Random Forest (RF) (Breiman, 2001). Pada penelitian ini, algoritma RF digunakan untuk mengklasifikasikan tutupan lahan sehingga mendapatkan luas ekspansi tanaman pertanian padi di dalam kawasan TNUK. Proses klasifikasi menggunakan algoritma RF berlangsung dalam platform Google Earth Engine (GEE) dan dilanjutkan pada platform ArcMap untuk tahap visualisasi data. Sebanyak 372 data yang terdiri dari seluruh jenis penggunaan lahan seperti air (48), hutan (102), sawah (143) dan perkebunan (79). Data-data ini dijadikan sebagai data pelatihan dan diuji pada platform GEE.

### Pengukuran akurasi

Proses deteksi yang melibatkan teknologi geospasial sering kali menghasilkan data yang tidak sesuai dengan kondisi aslinya. Congalton & Green (2019) menjelaskan bahwa metode klasifikasi yang tidak sesuai maupun proses analisis yang salah sehingga mempengaruhi kualitas data yang dihasilkan. Oleh karena itu, analisis akurasi dilakukan untuk mengukur keakuratan data yang dihasilkan dengan metode Overall accuracy dan Kappa accuracy (Stehmen 1999). Tabel Confusion matrix dilibatkan untuk melakukan pengujian pada data validasi untuk mengetahui jumlah data yang benar dan salah dalam proses klasifikasi.

$$Overall\ Accuracy\ (OA) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^r X_{ii} \times 100\%$$

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{ii} (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 \sum_{i=1}^r X_{ii} (X_{i+} \times X_{+i})}$$

**Tabel 3.** Interpretasi nilai kappa

Nilai kappa	Keterangan
<0.00	Poor
0.00 – 0.20	Slight
0.21 – 0.40	Fair
0.41 – 0.60	Moderate
0.61 – 0.80	Substantial
0.81 – 1.00	Almost perfect

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Lokasi Studi

Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) merupakan salah satu taman nasional pertama yang berdiri di Indonesia dan dipromosikan dalam kongres taman nasional di Bali yang dilaksanakan oleh Komisi Taman Nasional, IUCN (International Union for Conservation of Nature). Menurut Abdurrachman dan Pratiwi (2017) TNUK merupakan salah satu kawasan ekosistem hutan hujan tropis yang tersisa dan terletak di dataran rendah Jawa Barat yang diperuntukkan sebagai habitat bagi kelangsungan hidup salah satu satwa langka badak jawa (*Rhinoceros sondaicus*) dan berbagai spesies lainnya. TNUK terletak di bagian paling barat Pulau Jawa, Indonesia dan merupakan wilayah yang meliputi gunung Krakatau serta beberapa pulau kecil di sekitarnya, seperti Handeuleum, Peucang dan Panaitan. Titik koordinat TNUK terletak 6°30' - 6°52' 'LS dan 102°02' - 105°37' BT (Peggie, 2012).



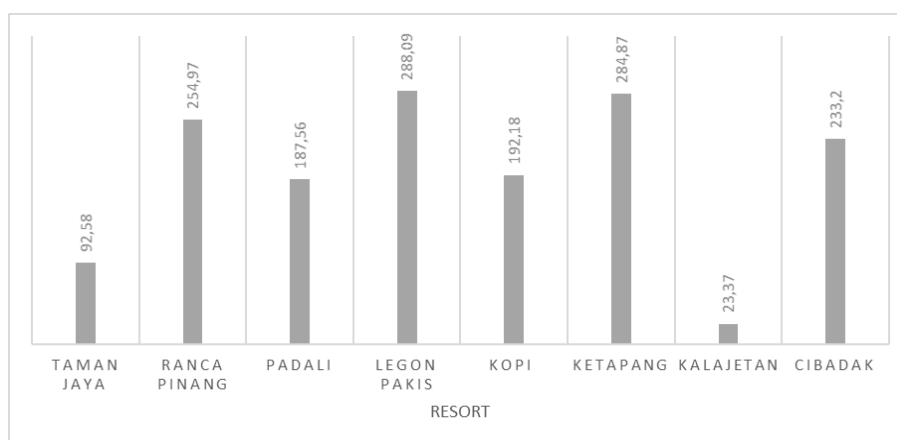
Gambar 3. Kawasan pertanian padi di wilayah Taman Nasional Ujung Kulon

Kawasan TNUK yang saat ini telah dikukuhkan merupakan hasil pemekaran Desa Cigondrong menjadi 6 desa di Kecamatan Sumur, Pandeglang, Banten (Eko, 2013). Karakteristik TNUK dicirikan dengan gunung berapi (Sales, 2019). TNUK memiliki berbagai macam spesies yang tercatat, kurang lebih terdapat 700 jenis tumbuhan yang dilindungi dan terdapat 57 jenis tumbuhan tergolong langka, diantaranya merbau (*Intsia bijuga*), palahlar (*Dipterocarpus hasseltii*), bungur (*Lagerstroemia speciosa*), cerlang (*Pterospermum diversifolium*), ki hujan (*Engelhardia serrata*) serta berbagai jeni anggrek (Abdurrachman dan Pratiwi, 2017).

Berdasarkan tinjauan lapangan, masyarakat sekitar taman nasional ini memiliki mata pencaharian sebagai petani, nelayan, guide wisata, dan pekerja di dalam TNUK. Hamparan pertanian padi sawah terdapat di wilayah perbatasan dan sekitar taman nasional ini. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3 yang merupakan kawasan pertanian padi sawah milik masyarakat setempat di Desa Taman Jaya, Kecamatan Sumur, Kab. Pandeglang. Masyarakat sekitar TNUK memanfaatkan sumber air yang berasal dari taman nasional untuk mengairi lahan pertanian padi. Pemanfaatan lahan ini merupakan salah satu bentuk usaha membangkitkan perekonomian masyarakat desa setempat, walaupun sesungguhnya terdapat beberapa aktivitas bertani yang melanggar.

**Tabel 4.** Distribusi ekspansi padi di beberapa resort TNUK

No.	Resort Taman Nasional	Luas Ekspansi Padi (ha)	Persentase terhadap resort (%)	Persentase terhadap kawasan hutan TNUK (%)
1.	Taman Jaya	92,58	3,92	0,15
2.	Ranca Pinang	254,97	9,51	0,42
3.	Padali	187,56	7,91	0,31
4.	Legon Pakis	288,09	5,31	0,47
5.	Kopi	192,18	8,18	0,31
6.	Ketapang	284,87	12,04	0,46
7.	Kalajetan	23,37	0,38	0,04
8.	Cibadak	233,20	9,73	0,38
Total		1.556,82		2,54



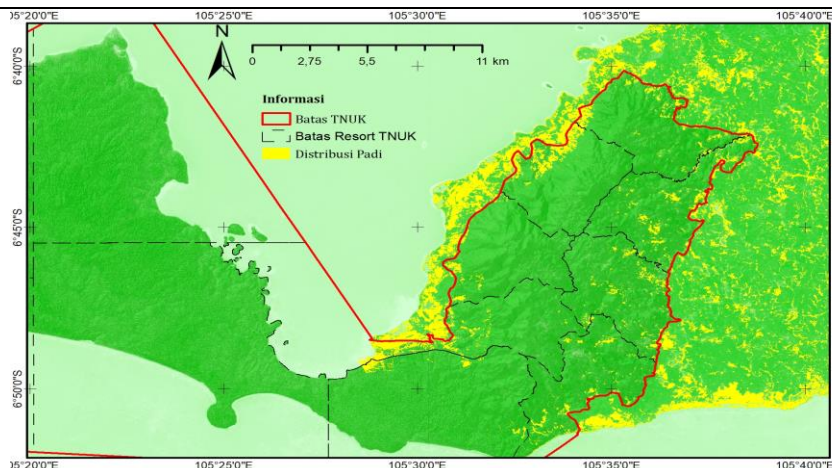
Gambar 4. Luas Ekspansi Padi Berdasarkan Resort

### Klasifikasi dan Deteksi Padi

Park et al. (2018) menjelaskan bahwa metode remote sensing memiliki peran penting dalam kegiatan pemantauan tanaman padi yang merupakan produk pangan prioritas. Penelitian ini menghasilkan luasan ekspansi pertanian padi di kawasan Taman Nasional Ujung Kulon. 10 algoritma indeks yang dipadukan dengan algoritma klasifikasi RF (*Random Forest*) berhasil mendapatkan total luasan ekspansi padi sebesar 15.56,82 ha. Tanaman padi berekspansi di delapan (8) dari 13 resort diantaranya Resort Taman Jaya, Ranca Pinang, Padali, Legon Pakis, Kopi, Ketapang, Kalajetan, dan Cibadak (Tabel 4; Gambar 4). Ekspansi padi terbesar di taman nasional ini adalah Resort Legon Pakis seluas 288,09 ha atau sekitar 5,31 % terhadap luas resort. Dan luas ekspansi terkecil yaitu pada Resort Kalajetan dengan luas ekspansi sebesar 23,37 ha atau sekitar 0,38% terhadap luas kawasan resort. Jika ditotalkan secara keseluruhan, 2,54% kawasan pertanian padi yang berada di dalam kawasan Hutan Konservasi (HK) di TNUK. Luas kawasan pertanian tersebut tidak seharusnya berada di dalam kawasan hutan, mengingat fungsi kawasan hutan taman nasional untuk menjamin keberlangsungan pelestarian biodiversitas dan ekosistem yang terkandung didalamnya.

### Dampak Ekspansi Padi

Seiring berjalannya waktu dan pertumbuhan penduduk global menyebabkan kebutuhan produk pangan terutama beras semakin meningkat (Kontgis et al. 2015). Selain itu, beras merupakan salah satu produk ekspor yang menopang perekonomian di beberapa negara (Flaherty dan Vandergeest 1999). Hal ini menyebabkan kebutuhan lahan pertanian semakin meningkat dan berekspansi menjauhi area urban hingga masuk ke wilayah hutan. Aktivitas inilah yang membuat terdegradasinya ekosistem hutan, terutama di taman nasional (Laborte et al. 2012). Yamamoto et al. (2019) menjelaskan bahwa perluasan pemukiman desa yang diikuti oleh pertanian di Indonesia merupakan faktor utama dalam hilangnya keanekaragaman hayati secara intensif. Selanjutnya Whitten (1987) menjelaskan bahwa pemukiman desa yang berdekatan dengan kawasan hutan ataupun berada di tepian hutan memberikan dampak buruk terhadap keberlangsungan ekosistem di dalam kawasan hutan.

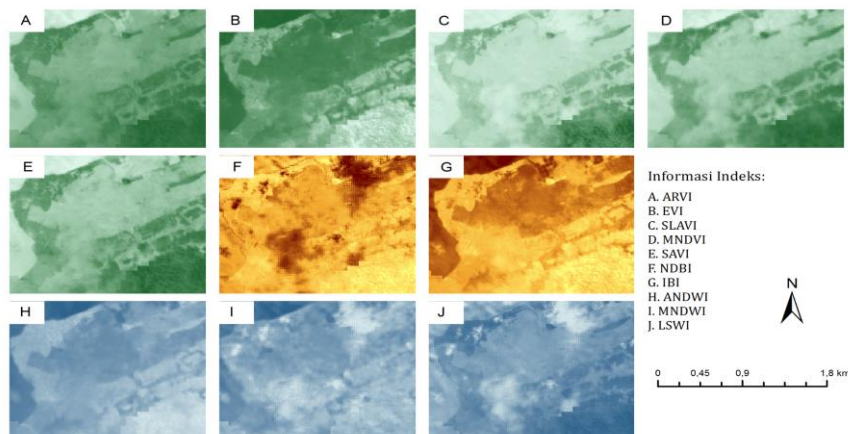


Gambar 5. Peta distribusi padi

Hingga sekarang ini, pertanian dan pemukiman merupakan salah satu ancaman bagi ekosistem hutan (Laborte et al. 2012). Ini terjadi pada kawasan hutan konservasi TNUK yang dibuktikan dengan adanya ekspansi pertanian padi sekitar 1.556,82 ha di dalam kawasan hutan (Tabel 4; Gambar 5). Hal ini juga didukung oleh penelitian Maertens et al. (2006) yang menjelaskan bahwa di hutan dataran tinggi di Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) mengalami deforestasi akibat adanya perluasan pertanian. Aktivitas ini terjadi di sekitar wilayah perbatasan taman nasional. Tuntutan ekonomi masyarakat membuat pendapatan dari sektor pertanian harus ditingkatkan. Akibatnya, seiring berjalannya waktu akan mengikis wilayah-wilayah perbatasan dari taman nasional tersebut. Selain itu, wilayah hutan TNUK merupakan salah satu tempat hunian satwa kucing besar yang berpotensi terjadinya konflik satwa liar (Gunawan, 2017).

**Karakteristik Spektral Padi**

Karakteristik spektral pada penggunaan lahan berupa pertanian padi memiliki karakteristik spektral yang berbeda dengan penggunaan lahan lainnya. Hal ini dikarenakan fisiologi padi yang berbeda dengan fisiologi jenis penggunaan lahan lainnya. Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan komoditas yang memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Padi merupakan tanaman yang termasuk ke dalam kelompok tanaman C3. Tanaman C3 merupakan tanaman yang lebih adaptif dengan kondisi yang memiliki kandungan CO2 tinggi pada atmosfer (Perkasa et al. 2017). Secara umum, padi membutuhkan waktu sekitar 120 hari hingga panen. Fase pertumbuhan padi terdiri dari 3 tahap, mulai dari fase vegetatif, fase generatif, dan fase pematangan. Pemahaman akan teknik budidaya serta fisiologi padi merupakan hal yang terpenting dalam pemetaan padi sawah karena padi memiliki karakteristik fisik umum yang berbeda serta karakteristik padi pada tahap pertumbuhan juga berbeda (Zhao et al. 2021). Berdasarkan fisiologi padi, penggunaan remote sensing sangat penting untuk meningkatkan pengelolaan air dan tanaman serta pemetaan dan prediksi hasil padi (Lima et al. 2021). Seperti penelitian yang dilakukan oleh Niel dan Vicar (2004) yang membahas status penerapan teknologi remote sensing pada penanaman padi di Australia mencakup identifikasi tanaman, pengukuran area, dan prediksi hasil padi.



Gambar 6. Karakteristik spektral pada tanaman padi

Algoritma indeks diluncurkan untuk menerjemahkan karakteristik panjang gelombang yang diterima oleh sensor satelit dari permukaan bumi. Analisis spasial ini melibatkan 8 (delapan) indeks yang terbagi kedalam tiga kelas yaitu kelas vegetasi (MNDVI, EVI, SAVI, ARVI, dan SLAVI), kelas indeks air (LSWI, ANDWI, dan MNDWI), dan kelas indeks lahan terbangun (IBI dan NDBI). Berdasarkan tujuan pengembangan indeks, tentu memberikan pengaruh terhadap hasil yang didapatkan. Band (*kanal*) yang dilibatkan dalam algoritma indeks inilah yang mempengaruhi kemampuan indeks dalam menilai penggunaan lahan dipermukaan bumi. Pada kasus ini, tentu indeks yang berhubungan dengan fisiologi padi perlu untuk dilibatkan secara maksimal dalam mendeteksi distribusi pertanian padi.

Indeks vegetasi merupakan salah satu indeks utama dalam menentukan distribusi kawasan pertanian. Selanjutnya, indeks air dilibatkan mengingat fisiologi tanaman pertanian yang selalu terendam air. Indeks bangunan juga dilibatkan dalam penelitian ini, dikarenakan indeks bangunn memiliki tingkat sensitivitas terhadap lahan terbangun ataupun lahan yang memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang rendah. Gambar 6 menggambarkan mengenai kemampuan 10 indeks dalam membedakan setiap jenis penggunaan lahan. Terdapat perbedaan kemampuan visualisasi dari indeks-indeks yang dilibatkan. Misalnya, indeks EVI memiliki rentan nilai yang berbanding terbalik dengan indeks vegetasi lainnya. Hal ini juga terjadi pada indeks bangunan dan indeks air. Pada indeks bangunan IBI, nilai piksel indeks tertinggi pada jenis penggunaan lahan berupa air dan ini berbanding terbalik dengan indeks NDBI. Selanjutnya indeks MNDWI dan ANDWI yang memiliki nilai piksel tertinggi pada badan air dan berbanding terbalik dengan indeks LSWI

### Penilaian akurasi

Sebanyak 100 data validasi yang terdiri dari data padi dan non padi diuji menggunakan tabel *confusion matrix*. Ini merupakan tahapan terakhir dari analisis geospasial untuk menguji tingkat keakuratan informasi spasial yang didapatkan sebelum disebarluaskan kepada para pengguna (Congalton dan Green 2019). Hasil analisis menunjukkan bahwa informasi spasial mengenai data ekspansi lahan pertanian padi dapat diterima dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Hal ini dapat dilihat nilai overall accuracy (OA) dan kappa statistics (KS) yang didapatkan yaitu masing-masing sebesar 93,00% dan 0,87 (Tabel 5). Dari beberapa sumber literatur mengungkapkan bahwa nilai OA yang baik merupakan nilai yang lebih dari 85%. Dan diketahui bahwa nilai kappa yang didapatkan masuk sebagai kelas *almost perfect* pada Tabel 3 dan berarti memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi. Selain itu, hal ini dapat dilihat dari user's accuracy (UA) dan producer's accuracy (PA) yang didapatkan diatas 85% pada pengujian data validasi.

**Tabel 5.** *Confusion matrix*

Kelas penggunaan lahan	Data validasi		Total ( <i>User's</i> )
	Padi	Non-padi	
Padi	49	6	55
Non-padi	1	44	45
Total ( <i>Producer's</i> )	50	50	100
	<i>User's accuracy (%)</i>		<i>Producer's accuracy (%)</i>
Padi			98,00
Non-padi			88,00
<i>Overall accuracy (OA, %)</i>			: 93,00
<i>Kappa statistics (KS)</i>			: 0,87

Penerapan teknologi geospasial yang melibatkan algoritma RF (random forest) dan menggunakan sumber citra Sentinel-2 MSI mendapatkan hasil yang baik. Metode akurasi digunakan pada penelitian ini dengan menguji hasil klasifikasi sehingga mendapatkan kelas interpretasi yang cukup baik. 100 data ini menguji kemampuan 10 indeks (vegetasi, air dan lahan terbangun) dalam membantu mendeteksi area penggunaan lahan berupa pertanian padi yang berada di dalam kawasan hutan TN Ujung Kulon. Integrasi pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini dinilai memberikan banyak manfaat terutama dalam mempercepat deteksi ekspansi pertanian padi di lokasi studi. Algoritma indeks dan algoritma RF yang dilibatkan dalam platform GEE (Google Earth Engine) dapat memainkan peran dalam memfilter piksel citra dari rentetan data citra dalam satu tahun membuat kualitas hasil klasifikasi tidak dapat diragukan. Pemilihan keterlibatan indeks dan pemilihan citra yang disesuaikan dengan kondisi iklim dinilai dapat membantu meningkatkan nilai akurasi pada penelitian ini.

### SIMPULAN

Padi merupakan salah satu produk pertanian yang menjadi makanan pokok bagi sebagian besar penduduk dunia dan mengalami peningkatan kebutuhan seiring berjalannya waktu secara global. Pemenuhan akan lahan pertanian memberikan sering memberikan dampak buruk terhadap keberlangsungan ekosistem hutan. Di lain sisi, perlindungan



kawasan hutan khusus Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) merupakan salah satu prioritas nasional mengingat keanekaragaman yang tersimpan di dalamnya. Penelitian yang melibatkan 10 algoritma indeks dan algoritma klasifikasi RF membuktikan ekspansi pertanian seluas 1.556,82 ha atau setara 2,54% terhadap total kawasan hutan di TNUK. Luasan yang didapatkan memiliki nilai akurasi berkisar di angka 93,00 (OA) dan 0,87 (KS), sehingga dapat mengestimasi luasan ekspansi area pertanian dengan tepat. Terdapat 8 (delapan) resort di TN Ujung Kulon yang mengalami fragmentasi lahan akibat adanya ekspansi pertanian ini. Permasalahan ini membutuhkan solusi dari pihak pengelola taman nasional yang juga memperhatikan kesejahteraan dengan masyarakat sekitar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada pemerintah setempat khususnya pihak pengelola serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami berikan kepada Osaka Gas Jepang yang telah mendanai penelitian ini melalui program The Osaka Gas Foundation of International Cultural Exchange (OGFICE) Research Grant For 2021-2022. Selain itu, kami ucapkan terima kasih kepada IPB SSRS Association yang telah memfasilitasi penelitian ini, serta Tim Riset Rhino-Sprawl (Moh Zulfajrin, Lina Lathifah Nurazizah, Azelia Dwi Rahmawati, Faradilla Anggit Prameswari, Aulia Ranti, Made Chandra Aruna Putra, dan Zayyaan Nabiila Khairunnisa) dan Tim Riset Mangrove (Naifa Sa'diyya, Ardy Hwardaya Gustawan) yang telah mendukung dalam pengambilan data.

### DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman. and Pratiwi, A. (2017) 'Pengelolaan Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK)', *Journal of Indonesia Tourism and Policy Studies*.
- Amler, E., Schmidt, M. and Menz, G. (2015) 'Definitions and Mapping of East African Wetlands: A Review', *Remote Sensing*.
- Aprilianti, H. Ari, R. A., Ranti, A. and Aslam, M. F. (2021) 'Identification and Classification of Cloud Computing-Based Vegetation Index Values on Several Lands Used in Bogor Regency, Indonesia', *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Breiman, L. (2001) 'Random Forest', *Machine Learning*.
- Cai, Y., Lin, H. and Zhang, M. (2019) 'Mapping Paddy Rice by The Object-Based Random Forest Method Using Time Series Sentinel-1/Sentinel-2 Data', *Science Direct*.
- Carruthers, J. (1993) 'National Parks in South Africa', *London: Earthscan*.
- Chong, L., Huan-jun, L., Qiang, F., Hai-xiang, G., Qiang, YE., Xin-le, Z. and Fan-chang, K. (2020) 'Mapping the Fallowed Area of Paddy Fields on Sanjiang Plain of Northeast China to Assist Water Security Assessments', *Science Direct*.
- Congalton, R. G., and Green Kass. (2019) 'Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data', *London: CRC Press*.
- Curry, N. (2009) 'National Parks', *International Encyclopedia of Human Geography*.
- Dong, J. and Xiao Xiangming (2016) 'Evolution of Regional to Global Paddy Rice Mapping Methods: A Review', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Drusch, M., Bello, U. D., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygert, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F. and Bargellini, P. (2012) 'Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services', *Remote Sensing of Environment*.
- Eko, C. (2013) 'Ekslusi Atas Nama Konservasi (Studi Kasus Masyarakat Sekitar/Dalam Kawasan Taman Nasional Ujungkulon Banten)', *Jurnal Sosiologi Reflektif*.
- Flaherty, M., Vandegest, P. and Miller, P. (1999) 'Rice Paddy or Shrimp Pond: Tough Decisions in Rural Thailand', *World Development*.
- Gunaawan, H., Iskandar, S., Sihombing, V. S. and Wienanto. (2017) 'Conflict between humans and leopards (Panthera pardus melas Cuvier, 1809) in Western Java, Indonesia', *Biodiversitas*.
- Huete, A. R. (1988) 'A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)', *Remote Sensing of Environment*.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodrigues, E. P., Gao, X. and Ferreira, L. G. (2002) 'Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices', *Remote Sensing of Environment*.

- IUCN, 'Category II: National Park. International Union for Conservation of Nature', Diakses pada <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-areas-categories/category-ii-national-park>
- Joshi, V. R., Throp, K. R., Coulter, J. A., Johnson, G. A., Porter, P. M., Strock, J. F. and Garcia, A. G. Y. (2019) 'Improving Site-Specific Maize Yield Estimation by Integrating Satellite Multispectral Data into a Crop Model', *Agronomy*.
- Kaufman, Y. J. and Tanre, D. (1992) 'Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS', *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.
- Kontgis, C., Schneider, A. and Ozdogan, M. (2015) 'Mapping Rice Paddy Extent and Intensification in The Vietnamese Mekong River Delta with Dense Time Stacks of Landat Data, *Remote Sensing of Environment*.
- Kumar, L. and Mutanga, O. (2018) 'Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential, *Remote Sensing*.
- Laborte, A. G., Maunahan, A. A. and Hijmans, R. J. (2011) 'Opportunities for Expanding Paddy Rice Production in Laos: Spatial Predictive Modeling Using Random Forest', *Journal of Land Use Science*.
- Lima, I. P. D., Jorge, R. G. and Lima, J. L. M. P. D. (2021) 'Remote Sensing Monitoring of Rice Fields: Towards Assessing Water Saving Irrigation Management Practices. *Frontiers in Remote Sensing*.
- Lymburner, L., Beggs, P. J. and Jacobson, C. R. (2000) 'Estimation of Canopy-Average Surface-Specific Leaf Area Using Landsat TM Data', *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.
- MacKinnon, C. A. (1993) 'Crimes of War, Crimes of Peace', *UCLA Women's Law Journal*.
- Maertens, M., Zeller, M. and Birner, R. (2006) 'Sustainable Agricultural Intensification in Forest Frontier Areas', *Agricultural Economics*.
- Margono, B. A., Potapov, P. V., Turubanova, S., Stolle, F. and Hansen, M. C. (2014) 'Primary Forest Cover Loss in Indonesia Over 2000-2012', *Nature Climate Change*.
- Mutanga, O. and Kumar Latif (2019) 'Google Earth Engine Applications', *Remote Sensing*.
- Niel, T. G. V., and Vicar, T. R M (2004) 'Current and Potential Uses of Optical Remote Sensing in Rice-Based Irrigation System: A Review', *Australian Journal of Agricultural Research*.
- Park, S., Im, J., Park, S., Yoo, C., Han, H. and Rhee, J. (2018) 'Classification and Mapping of Paddy Rice by Combining Landsat and SAR Time Series Data', *Remote Sensing*.
- Peggie, D. (2012) 'A List of The Butterflies of Ujung Kulon National Park Java, Indonesia', *Journal on Zoologi of The Indo-Australian Archipelago*.
- Perkasa, A. Y., Siswanto, T., Shintarika, F. and Aji, G. (2017) 'Studi Identifikasi Stomata pada Kelompok Tanaman C3, C4 dan CAM', *Jurnal Pertanian Presisi*.
- Rad, A. M., Kreitler, J. and Sadegh, M. (2021) 'Augmented Normalized Difference Water Index for Improved Surface Water Monitoring', *Environmental Modelling and Software*.
- Ranti, A., Ari, R. A. and Ameiliani, T. H. (2022) 'Detection of Urban Forest Change in Jabodetabek Megacity Using Sentinel 2 and Landsat 8 Imagery Through Google Earth Engine Cloud Computing Platform', *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Rees. (1999) 'The Remote Sensing Data Book', *Melbourne: Cambridge University Press*.
- Rouse, Jr. J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W. (1974) 'Monitoring Vegetation System in The Great Plains With Ert's', *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium 1973*.
- Sales, V. C. (2019) 'Ujung Kulon National Park, Indonesia', *Coastal World Heritage Sites*.
- Santoso, A dan Nasir Muhammad (2021) 'Pemetaan Lahan dan Komoditas Pertanian Berbasis Webgis di Kabupaten Oku Timur', *Jurnal Ilmiah Betrik*.
- Santoso, H. B., Rachmat, A., Wibowo, A. and Dilemma, R. (2020) 'Kajian dan Rekomendasi Sistem Pemetaan Lahan Pertanian', *Ultima InfoSys: Jurnal Sistem Informasi*.
- Singha, M., Dong, J., Zhang, G. and Xiao, X. (2019) 'High Resolution Paddy Rice Maps in Cloud-Prone Bangladesh and Northeast India Using Sentinel-1 Data, *Scientific Data*.
- Spoto, F., Sy, O., Laberinti, P., Martimort, P., Fernandez, V., Colin, O., Hoersch, B. and Meygert, A. (2012) 'Overview of Sentinel-2', *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2012*
- Stehman, S. V. (1999) 'Basic Probability Sampling Designs for Thematic Map Accuracy Assessment', *International Journal of Remote Sensing*.
- Torbick, N., Chowdhury, D., Salas, W. and Qi, J. (2017) 'Monitoring Rice Agriculture across Myanmar Using Time Series Sentinel-1 Assisted by Landsat-8 and PALSAR-2, *Remote Sensing*.
- Tsujino, R., Yumoto, T., Kitamura, s., Djameluddin I. and Darnaedi, D. (2016) 'History of Forest Loss and Degradation in Indonesia', *Land Use Policy*.

- 
- Whitten, A. J. (1987) 'Indonesia's Transmigration Program and Its Role in the Loss of Tropical Rain Forests', *Conservation Biology*.
- Xiao, X., Boles, S., Frokling, S., Salas, W., W., III, B., Li, C., He, L. and Zhao, R. (2002) 'Observation of Flooding and Rice Transplanting of Paddy Rice Fields at The Site to Landscape Scale in China Using Vegetation Sensor Data', *International Journal of Remote Sensing*.
- Xiao, X., Boles, S., Liu, Jiyuan., Zhuang, D., Frokling, S., Li, C., Salas, W. and III, B, M. (2005) 'Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-Temporal MODIS Images', *Remote Sensing Environment*.
- Xu, H. (2006) 'Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery', *International Journal of Remote Sensing*.
- Xu, H. (2008) 'A New Index for Delineating Built-Up Land Features in Satellite Imagery', *International Journal of Remote Sensing*.
- Yamamoto, Y., Shigetomi, Y., Ishimura, Y. and Hattori, M. (2019) 'Forest Change and Agricultural Productivity: Evidence from Indonesia', *World Development*.
- Zha, Y., Gao, J. and Ni, S. (2003) 'Use of Normalized Difference Built-Up Index in Automatically Mapping Urban Areas from TM Imagery', *International Journal of Remote Sensing*.
- Zhao, R., Li, Y. and Ma, M. (2021) 'Mapping Paddy Rice with Satellite Remote Sensing: A Review', *Sustainability*.
- .