

## KAJIAN *UPDATING* PETA STATUS TUTUPAN LAHAN MANGROVE DENGAN ALGORITMA *MACHINE LEARNING* DAN INDEKS VEGETASIDI KABUPATEN BERAU

A. Arifin Itsnani SM<sup>1</sup> dan Adelia Juli Kardika<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Geomatika, Jurusan Teknik dan Informatika, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Jl. Sam Ratulangi, Sungai Keledang, Kec. Samarinda Seberang

<sup>2</sup>Program Studi Pengelolaan Hutan, Jurusan Manajemen Hutan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Jl. Sam Ratulangi, Sungai Keledang, Kec. Samarinda Seberang  
E-Mail: arifinitsnani@politanisamarinda.ac.id; adeliajk@politanisamarinda.ac.id

Submit: 16-11-2022

Revisi: 27-2-2023

Diterima: 8-3-2023

### ABSTRAK

**Kajian *Updating* Peta Status Tutupan Lahan Mangrove dengan Algoritma *Machine Learning* dan Indeks Vegetasi di Kabupaten Berau.** Pemetaan ekstraterestris dengan teknologi satelit penginderaan jauh memberikan kemudahan klasifikasi *land use land cover* (LULC) pada area yang luas secara multitemporal dengan keunggulan meminimalisir waktu dan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji *updating* peta status tutupan lahan mangrove berupa sebaran, luasan, dan tingkat kerapatan kanopi menggunakan algoritma *machine learning* dan indeks vegetasi di wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan Kabupaten Berau sebagai daerah pendukung program *blue carbon*. Area studi penelitian ini menggunakan data Citra Sentinel 2B multitemporal untuk memperoleh informasi peta LULC, perubahan perkembangan lahan, dan ekosistem mangrove. Hasil pemetaan LULC menggunakan reflektan multispektral Sentinel menunjukkan akurasi minimum pada tingkat OA = 81% dan kappa = 2.00. Adapun tingkat kerapatan hasil algoritma GNDVI keseluruhan dengan nilai kerapatan berkisar antara 1 - 9 Nilai tersebut dibagi kedalam 1 kelas non vegetasi ( $\leq 3$ ) dan 4 kelas kerapatan vegetasi yang bervariasi dengan status tingkat kerapatan jarang ( $\leq 5$ ), sedang ( $\leq 7$ ), lebat ( $\leq 8$ ), dan sangat lebat ( $\leq 9$ ). Perkembangan DUDI (Dunia Usaha dan Dunia Industri) dalam sektor perkebunan maupun tambak di Kecamatan Pulau Derawan membuat perubahan signifikan terhadap LULC dan sebaran mangrove. Dari tahun 2018 hingga 2022, terdapat 15.21% lahan mangrove menjadi lahan tanaman dan lahan basah, 6.25% lahan tanaman dan 8.30% lahan basah menjadi lahan kering, 34.24% lahan kering menjadi lahan tanaman, sedangkan lahan terbangun mengalami kenaikan 114.57%. Penurunan yang luar biasa dari hutan mangrove dapat terjadi di tanah pedalaman sepanjang wilayah pesisir yang dikonversi menjadi lahan perkebunan sawit.

**Kata kunci:** Indeks vegetasi, *land use land cover*, *machine learning*, sentinel-2, status mangrove.

### ABSTRACT

**Study *Updating* Mangrove Land Cover Status Map with Machine Learning Algorithm and Vegetation Indices in Berau District.** Extraterrestrial mapping using remote sensing satellite technology makes it easy to classify *land use land cover* (LULC) in large areas in a multitemporal with the advantage of minimizing time and costs. This study aims to examine the updating of mangrove land cover status maps in the form of distribution, area, and canopy density using machine learning algorithms and vegetation indexes in the coastal area of Derawan Island District, Berau Regency as a support area for the blue carbon program. The study area of this research uses multitemporal Sentinel 2B Imagery data to obtain information on LULC maps, changes in land development, and mangrove ecosystems. LULC mapping results using Sentinel multispectral reflectance showed minimum accuracy at the OA level = 81% and kappa = 2.00. The overall density level of the GNDVI algorithm results with density values ranging from 1 - 9. The value is divided into 1 non-vegetation class ( $\leq 3$ ) and 4 vegetation density classes which vary with the status of rare density level

( $\leq 5$ ), *medium* ( $\leq 7$ ), *dense* ( $\leq 8$ ), and *very dense* ( $\leq 9$ ). The development of DUDI (*World of Business and Industry*) in the plantation and pond sectors in Pulau Derawan District has made significant changes to LULC and the distribution of mangroves. From 2018 to 2022, 15.21% of mangrove land changed to become cropland and wetlands, 6.25% of cropland and 8.30% of wetlands changed dry land, 34.24% of dry land changed cropland, while built-up land changed increase by 114.57%. Significant reduction of mangrove forests may occur in inland lands along coastal areas converted to oil palm plantations.

**Keywords:** Land use land cover, mangrove status, machine learning, vegetation index, sentinel-2.

## 1. PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu kelompok tumbuhan pantai pada daerah intertidal yang berkontribusi sangat besar terhadap kesehatan komponen biotik (biota terrestrial-laut), abiotik (substrat dan perairan), serta aktivitas sosial ekonomi masyarakat (Rahadian et al., 2019)

Ekologi mangrove yang sehat dapat memproteksi wilayah pesisir terhadap ancaman badai, abrasi, dan tsunami (Djamaluddin, 2018). Sehingga mampu mempertahankan geomorfologi wilayah pesisir dan keberlangsungan habitat biota di dalamnya (Abd el-sadek et al., 2022). Observasi yang dilakukan Mangrove merupakan salah satu ekosistem *blue carbon* yang berfungsi mengurangi emisi dari karbon dioksida sebagai upaya mitigasi perubahan iklim global (Maryantika & Lin, 2017). Diperkirakan serapan karbon mangrove global sebesar 174 gr C/m<sup>2</sup> /tahun dengan kontribusi 14% dari total serapan di kawasan pesisir. Karbon yang diserap akan disimpan dalam bentuk biomassa melalui proses fotosintesis dengan total 934 tonC/ha atau dibandingkan sekitar tiga kali lipat lebih tinggi dari ekosistem *green carbon* hutan tropis daratan (Dharmawan, 2014). Mangrove secara ekonomi memberikan dampak terhadap kondisi sosial masyarakat sekitar seperti penyedia sumber pangan, obat-obatan, bahan bakar, dan bahan bangunan serta peningkatan nilai keanekaragaman hayati bagi masyarakat lokal (Iksan et al., 2019). Menghitung total valuasi ekonomi konservasi mangrove lebih tinggi

dibandingkan dengan sektor pertambangan. Kemudian produksi sektor perikanan pesisir sangat dipengaruhi oleh keberadaan ekosistem mangrove (Pottier et al., 2021). Fungsi dan jasa yang diberikan oleh ekosistem mangrove optimal jika komunitas mangrove terjaga dengan baik (Purwanto & Asriningrum, 2019).

Namun, dalam dua dekade terakhir, hutan Mangrove telah terancam secara global akibat tren kenaikan alih guna lahan dan aktivitas pengembangan kawasan pesisir lainnya yang menurunkan luasan hutan mangrove di Indonesia (Rahmanto, 2020). Seperti deforestasi akibat aktivitas manusia, terutama industri dan kegiatan budidaya (Firmansyah et al., 2021)

Saat ini, Indonesia memiliki 3.364.076 Ha luas ekosistem mangrove atau 20 % dari luas global dimana yang merupakan terluas di dunia (KKP, 2022). Kabupaten Berau memiliki hutan mangrove seluas  $\pm$  85.389 hektare dan tersebar di wilayah pesisir pada 8 kecamatan dengan tingkat keanekaragaman tinggi (Sahri, 2013). Semua mangrove tersebut mendukung Program Karbon Hutan Berau (PKHB) sejak tahun 2008 yang mewujudkan pengembangan program konservasi ekosistem karbon hijau dan biru yang terintegrasi. Namun, dalam beberapa tahun terakhir hutan mangrove di Kabupaten Berau telah banyak berkurang akibat deforestasi menjadi kebun sawit dan tambak, serta adanya kebakaran hutan yang disebabkan oleh aktivitas masyarakat maupun dari pihak industri

(Dewi et al., 2020a). Kebijakan mitigasi yang tepat sangat penting dirumuskan agar bencana degradasi mangrove tidak terus terjadi (Yuniarti et al., 2016). Salah satu langkah penting dalam upaya mitigasi mangrove adalah perlunya *updating* peta status tutupan lahan mangrove (Maulani et al., 2021). Sehingga dapat diketahui penggunaan lahan dan tutupan lahan mangrove sebagai masukan perencanaan konservasi ekosistem mangrove yang bermanfaat menyerap dan menyimpan karbon untuk mitigasi perubahan iklim di Kabupaten Berau (Bastian et al., 2017).

Penginderaan jauh merupakan teknologi pemetaan ekstraterestris yang cepat dan efisien untuk pemantauan tutupan lahan mangrove karena kemampuannya dalam memberikan data secara *time series* dan *real time* pada daerah yang dominan sulit atau luas untuk dijangkau, pengukuran terestris sulit dilakukan, dan meminimalisir biaya yang mahal (Marini, 2017). Interpretasi citra satelit penginderaan jauh yang secara tradisional dilakukan berbasis visual saat ini telah dikembangkan ke interpretasi berbasis objek menggunakan teknologi *machine learning* dengan kecepatan produksi data dan mampu meminimalisir kesalahan identifikasi objek (Guo et al., 2021).

Data penginderaan jauh memberikan variasi resolusi spasial, temporal, dan spektral yang mampu mengidentifikasi sifat biofisik dan biokimia hutan, karbon stok dan produktivitas ekosistem terestrial, pemetaan penggunaan lahan dan tutupan lahan, dan juga sebaran mangrove (Zhu et al., 2021). Citra satelit dengan resolusi spasial sedang seperti citra Sentinel-2 menyediakan detail spasial yang memadai untuk pemetaan sebaran mangrove pada berbagai ekosistem pantai dan daratan (Spracklen & Spracklen, 2021). Citra Sentinel-2 berbiaya rendah,

dengan jangkauan cakupan area yang cukup luas, dan juga perekaman multi temporal (Mondal et al., 2019). Sehingga memadai untuk digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian sebelumnya oleh (Arhatin & Wahyuningrum, 2013) melakukan pemetaan mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Berau yang mencakup (Kecamatan Sambaliung, Kecamatan Tabalar, Kecamatan Biatan, Kecamatan Talisayan). Data yang digunakan adalah citra Landsat-7 ETM+, kemudian dilakukan klasifikasi terbimbing untuk identifikasi tutupan lahan mangrove dengan algoritma maximum likelihood. Setelahnya dilakukan transformasi indeks vegetasi dengan algoritma RVI, TRVI, DVI, NDVI, GNDVI, SAVI, GVI, IPVI dan SLAVI. Berdasarkan nilai  $R^2$  pada koefisien determinasi hasil analisis regresi dan nilai  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$  hasil analisis uji anova diketahui bahwa *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI) merupakan algoritma yang paling akurat untuk melihat kerapatan kanopi mangrove di area studi. Hasilnya diperoleh informasi status mangrove dari overlay antara citra klasifikasi terbimbing dengan transformasi indeks vegetasi berupa peta mangrove dengan berbagai tingkat kerapatan (rendah, sedang, tinggi).

Menurut penelitian (Zhu et al., 2021) menggunakan data optis *time series* Sentinel-2 tahun 2016-2020 dengan ekstraksi indeks NDVI dan EVI untuk identifikasi perubahan tutupan lahan hutan mangrove.

Kemudian menurut penelitian (Guo et al., 2021) sinyal spektral ke dalam indeks spektral tertentu memberikan informasi kerapatan hijau dan sifat fisiologis tajuk hutan. Pemanfaatan dari indeks vegetasi dapat memberikan tambahan informasi untuk

peta LULC (*Land Use and Land Cover*) secara efektif pada hutan mangrove.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya bahwa ekosistem mangrove yang berada di wilayah pesisir Kabupaten Berau mengalami degradasi beberapa tahun terakhir. Sehingga analisis ekstensif LULC dapat membantu untuk mengidentifikasi dampak kegiatan manusia pada ekosistem alami hutan mangrove yang juga bermanfaat untuk kebijakan perencanaan pengembangan lahan dan konservasi mangrove. Maka diperlukan *updating* data LULC (*Land Use and Land Cover*) atau penggunaan dan perubahan tutupan lahan mangrove yang terjadi dalam kurung waktu tahun 2018-2022. Sehingga untuk mengetahui status mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Berau sebagai area ekosistem mangrove yang berfungsi secara ekologis dan ekonomis. Maka tujuan dari penelitian ini adalah (1) Mendapatkan informasi status mangrove berupa sebaran, luasan, dan tingkat kerapatan (2) Mendapatkan peta LULC dari lokasi penelitian pada tahun 2018 hingga 2022, (3) Mengkaji perubahan tutupan lahan hutan mangrove di wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan, Kabupaten Berau.

## 2. METODA PENELITIAN

### 2.1. Tempat dan Waktu

Area studi pada penelitian ini adalah wilayah pesisir Kabupaten Berau yang secara geografis terletak antara koordinat 116°0'00" BT - 119°0'00" BT dan 1°0'00" LU - 2°33'00" LS, tepatnya di Kecamatan Pulau Derawan sebagai salah satu wilayah pusat mangrove. Ketinggian elevasi daerah ini berkisar antara 0 sampai 3 mdpl (Muhamad et al., 2021). Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan (Juni-September 2022).

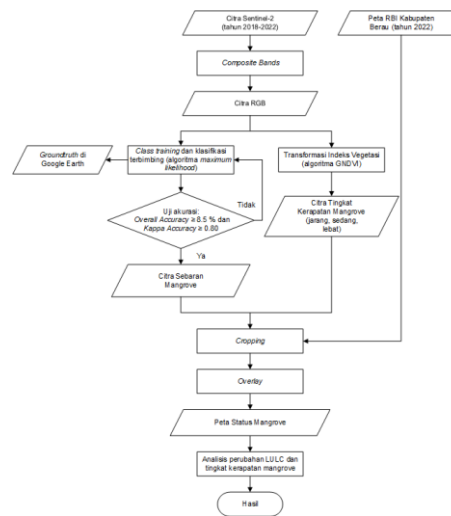
### 2.2. Bahan dan Alat

Adapun bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bahan: Peta RBI Kabupaten Berau skala 1:50.000 tahun 2022 format Shp diperoleh dari InaGeoportal BIG, Citra Satelit Sentinel-2 Multitemporal tahun 2018-2022 diperoleh dari Sentinel Esa yang terdiri dari 13 saluran spektrum. Dimana tiga band yang digunakan pada resolusi spasial 10 m: *Blue* (490  $\mu\text{m}$ ), *Green* (560  $\mu\text{m}$ ), *Red* (665  $\mu\text{m}$ ). Kemudian tiga band pada resolusi spasial 20 m: *Blue* (490  $\mu\text{m}$ ), *Red Edge* (865  $\mu\text{m}$ ), *SWIR* (1.610  $\mu\text{m}$ ).
- b. Alat: laptop ASUS A43S, aplikasi Google Colab, aplikasi ArcGIS 10.8, dan aplikasi Google Earth.

### 2.3. Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian digambarkan pada diagram alir yang ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Rancangan Penelitian

#### 2.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Adapun prosedur pelaksanaan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

##### Pengumpulan Data

- a. Data sekunder Peta RBI Kabupaten Berau skala 1:50.000 format Shp diperoleh dari Ina-Geoportal BIG (<https://tanahair.indonesia.go.id/porta-l-web/>) untuk batas area studi.

- b. Data Citra Satelit Sentinel-2 format GMLJP2 diperoleh dari situs USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov> untuk identifikasi status mangrove. Kemudian melakukan konversi nilai DN (Digital Number) ke ToA (Top of Atmospheric).

**Tabel 1.** Informasi dasar Citra Sentinel-2 multi-temporal yang digunakan.

Satellite	Platform	Akuisisi Data
Sentinel-2	S2B	11 Agustus 2018
Sentinel-2	S2B	21 Juni 2022

##### Composite Bands

Penggabungan citra dengan menggunakan komposit band 11, band 8A, dan band 2 pada pola pantulan vegetasi untuk membentuk citra RGB.

##### Transformasi Indeks Vegetasi

Melakukan transformasi indeks vegetasi pada citra RGB dengan penerapan algoritma GNDVI untuk mengetahui tingkat kehijauan vegetasi. Nilai indeks vegetasi yang diperoleh merupakan interpretasi tingkat kesehatan mangrove

dan kerapatan mangrove (status jarang, sedang, lebat, dan sangat lebat).

##### Klasifikasi Terbimbing

Klasifikasi terbimbing menggunakan algoritma *Maximum Likelihood* dengan data training yang representatif. Jumlah data training yang dibutuhkan disesuaikan dengan variasi objek. Umumnya semakin banyak data training sampel yang akurat akan memberikan hasil yang semakin efektif.

##### Uji Akurasi

Asesmen akurasi algoritma *Maximum Likelihood* untuk mengetahui akurasi pada citra hasil klasifikasi terbimbing menggunakan metode pengukuran matriks kesalahan (*confusion matrix*) meliputi nilai akurasi pembuat (*Producer Accuracy*), akurasi pengguna (*User Accuracy*), klasifikasi akurasi keseluruhan (*overall accuracy*), dan akurasi Kappa (*kappa accuracy*). Hasil klasifikasi citra digital dianggap belum selesai jika uji akurasi belum dilakukan.

#### *Validasi (Groundtruth)*

Validasi dilakukan untuk reinterpretasi tutupan lahan dengan titik validasi lapangan sebanyak 30% sebagai training area. Sedangkan reinterpretasi tingkat kerapatan tajuk melalui analisis korelasi statistik dengan 30% sebagai variabel independen dan nilai piksel sebagai variabel dependen. Kemudian sampel 70% untuk uji akurasi hasil interpretasi.

#### *Cropping*

Pemotongan citra yang sudah terklasifikasi dan terindeks vegetasi sesuai batas administrasi Kecamatan Pulau Derawan Kabupaten Berau dengan peta vektor RBI format shp.

#### *Overlay*

Overlay citra untuk memperoleh peta status tutupan lahan dan penggunaan lahan yang terdapat ekosistem mangrove

dengan informasi berupa sebaran, luasan, dan tingkat kerapatan kanopi.

#### Analisis

Analisis perubahan LULC (*Land Use and Land Cover*) dan kerapatan vegetasi dapat mengidentifikasi, menjelaskan dan mengukur perbedaan antara citra. Deteksi perubahan berdasarkan data citra satelit penginderaan jauh multi-temporal sangat membantu dalam memahami dinamika lanskap, mengidentifikasi dan mengukur perubahan antara dua atau lebih faktor penyebab dalam LULC dan juga mangrove selama lima tahun terakhir (2018-2022) berdasarkan nilai piksel.

### 2.5. Analisis Data

Dalam penelitian digunakan analisis data dengan algoritma GNDVI, algoritma *maximum likelihood*, dan uji akurasi matriks kesalahan (*confusion matrix*).

#### Algoritma GNDVI

Schowengerdt dalam (Arhatin & Wahyuningrum, 2013) merumuskan bahwa bentuk sederhana dari indeks vegetasi adalah ratio antara kanal NIR dan kanal Red yang disebut Ratio Vegetation Index (RVI). Jika vegetasi sehat nilai akan tinggi dan begitupun sebaliknya, algoritma RVI adalah sebagai berikut:

$$RVI = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{Red}} \quad (1)$$

Kemudian algoritma GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) yang diturunkan dari RVI:

$$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)} \quad (2)$$

#### Algoritma *Maximum Likelihood*

$$g_i(x) = \ln p(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (3)$$

Dimana:

$i$  = kelas

$x$  =  $n$ -dimensional data (dimana  $n$  adalah nomor band)

$p(\omega_i)$  = probabilitas bahwa kelas  $\omega_i$  muncul pada citra dan diasumsikan sama untuk semua kelas

$|\Sigma_i|$  = determinan matriks kovarians data di kelas  $\omega_i$

$\Sigma_i^{-1}$  = matriks invers

$m_i$  = mean vector

Akurasi matriks kesalahan (*confusion matrix*).

Uji akurasi citra hasil klasifikasi terbimbing dapat diuji dengan menggunakan matrik kontingensi Richards (1995) dalam (Spracklen & Spracklen, 2021). Uji akurasi matrik

kontingensi adalah % ketelitian kelas yang diperoleh dari perbandingan jumlah pixel yang benar masuk pada training area dengan jumlah pixel pada training area suatu kelas dalam matrik kontingensi antar kelas.

**Tabel 2.** Matrik kesalahan (*confusion matrix*).

Kelas	Training Area				Total baris $X_{+k}$	UA
	A	B.....	...	D		
A	$X_{ii}$	.....	...	...	$X_{+k}$	$X_{ki}/X_{+k}$
B	...	.....	...	...	...	...
...	...	.....	...	...	...	...
...	...	.....	...	...	...	...
D	...	.....	...	$X_{kk}$	...	...
Total kolom	$X_{k+}$	.....	...	...	$N$	...
PA	$X_{kk}/X_{k+}$	.....	...	...	...	...

Uji ketelitian yang dapat dihitung adalah PA (*producer accuracy*), UA (*user accuracy*), OA (*overall accuracy*), KA (*kappa accuracy*), OM (*omission errors*), dan COM (*commission errors*).

PA adalah peluang rata-rata (%) suatu piksel yang memperlihatkan sebaran dari masing-masing kelas yang telah diklasifikasi di lapangan. Secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Producer's accuracy} = \frac{X_{kk}}{X_{k+}} \times 100\% \quad (4)$$

UA adalah peluang rata-rata (%) suatu pixel secara aktual yang mewakili kelas-

kelas tersebut. Secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Users's accuracy} = \frac{X_{kk}}{X_{+k}} \times 100\% \quad (5)$$

OA adalah persentase dari pixel-pixel yang terkelaskan dengan tepat. Secara

matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum X_{kk}}{N} \times 100\% \quad (6)$$

*Kappa accuracy* (KA) adalah persentase akurasi yang menggunakan semua

elemen dalam matrik. Secara matematis diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Kappa accuracy} = \frac{N \sum_k^r X_{kk} - \sum_k^r X_{k+} X_{+k}}{N^2 - \sum_k^r X_{k+} X_{+k}} \quad (7)$$

Terlepas dari OA, akurasi identifikasi kelas perlu dilakukan asesmen dengan melihat sel non-diagonal dalam matriks. Sel-sel ini berisi kesalahan klasifikasi, yaitu kasus ketika gambar referensi dan gambar yang diklasifikasikan tidak cocok. Ada dua jenis kesalahan yaitu perkiraan yang terlalu rendah (*omission errors*) dan perkiraan yang terlalu tinggi (*commission errors*).

*Commission errors* untuk setiap kelas terjadi ketika prosedur klasifikasi menetapkan piksel ke kelas tertentu yang sebenarnya bukan bagiannya. Jumlah piksel yang secara keliru ditetapkan ke suatu kelas ditemukan di sel kolom kelas di atas dan di bawah diagonal utama. Jumlah piksel sel ini adalah nilai absolut dari komisi kelas. Dan jika kita membagi jumlah ini dengan jumlah total piksel kelas, kita akan mendapatkan *commission errors* relatif (Com):

$$\text{Com} = (bA + cA) / \sum A \quad (8)$$

Nilai Com dan PA terhubung:

$$\text{PA} = 1 - \text{Com} \quad (9)$$

*Omission errors* untuk setiap kelas terjadi ketika piksel yang sebenarnya milik satu kelas, dimasukkan ke dalam kelas lain. Dalam matriks konfusi, jumlah piksel yang dihilangkan ditemukan di sel baris ke kiri dan ke kanan dari diagonal utama. Jumlah sel-sel

ini adalah nilai absolut dari penghilangan kelas. Dan jika kita membagi jumlah ini dengan jumlah total piksel kelas dalam gambar yang diklasifikasikan, kita akan mendapatkan *omission errors* relatif (Om):

$$\text{Om} = (aB + aC) / \sum a \quad (10)$$

Nilai Com dan UA terhubung:

$$\text{UA} = 1 - \text{Om} \quad (11)$$



### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Penelitian

Akurasi klasifikasi LULC menggunakan data Sentinel-2

Klasifikasi terbimbing dengan algoritma *maximum likelihood* menggunakan citra multispektral Sentinel-2 kemudian dilakukan uji akurasi untuk mengetahui akurasi citra yang ditunjukkan pada Tabel 1. OA dari dua *scene* berkisar antara 81 % hingga 88

% dan kappa *accuracy* dari 1.82 hingga 2.00 pada tahun 2018 dan 2022. Diketahui bahwa akurasi terbaik (OA = 88 %, kappa = 1.82) dicapai dengan citra Sentinel-2 yang diperoleh dari *platform* S2B.

Ukuran ini sangat mendekati akurasi yang dicapai dalam penelitian pemetaan mangrove dan klasifikasi LULC yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2022).

**Tabel 1.** Akurasi klasifikasi terbimbing LULC data Sentinel-2 menggunakan algoritma *maximum likelihood*.

Tahun	Platform	Mangrove		Lahan Basah		Lahan Kering		Lahan Tanaman		Lahan Terbangun		OA (%)	Kappa
		PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)	PA (%)	UA (%)		
2018	S2B-MSIL2A	87.37	86.46	81.82	96.43	74.36	80.56	55.00	52.38	92.31	63.16	81	2.00
2022	S2B-MSIL1C	88.04	94.19	100.00	81.82	87.88	93.55	68.75	78.57	85.71	66.67	88	1.82

PA untuk mangrove sebesar 87.37% dan 88.04% sedangkan UA berkisar antara 86.46% dan 94.19% pada tahun 2018 dan tahun 2022. PA dan UA tertinggi terjadi pada tahun 2018 (87.37% dan 86.46% masing-masing) dan kemudian diikuti pada tahun 2022 (88.04% dan 94.19% masing-masing). Di lahan basah tahun 2018 dan 2022, PA berkisar antara 81.82 % dan 100% sedangkan UA berkisar antara 96.43% dan 81.82%. Untuk lahan kering pada tahun 2018 dan 2022, PA berkisar 74.36% dan 87.88% sedangkan UA berkisar 80.56% dan 93.55%. Dalam lahan tanaman pada tahun 2018 dan 2022, PA berkisar dari 55.00% dan 68.75% sedangkan UA 52.38% dan 78.57%. Lahan terbangun pada tahun 2018 dan 2022 memiliki PA dan UA dari 92.31% hingga 85.71% dan dari 63.16% menjadi 66.67% masing-masing. Sehingga dapat dievaluasi kappa *accuracy* dari klasifikasi LULC dapat bervariasi antara 1.82 dan 2.00. Mengingat skala resolusi spasial sedang untuk citra Sentinel 2 *platform* S2B,

setidaknya akurasi kappa lebih besar dari 0,80 harus dipenuhi untuk memastikan derivasi dari informasi yang dapat dipercaya dari perubahan LULC.

Meskipun belum ada kriteria umum yang dirancang untuk menentukan akurasi minimum yang diperlukan untuk pemetaan LULC melalui klasifikasi data penginderaan jauh, beberapa rekomendasi masih dapat ditemukan di artikel yang diterbitkan. Misal seperti (Bogoliubova & Tymków, 2014) menyarankan nilai minimum OA 71.5 untuk tutupan lahan. Ben Spracklen (2021) lebih lanjut merekomendasikan minimal tingkat OA = 69.9% setidaknya harus dipenuhi untuk kelas keseluruhan dan OA = 70% untuk salah satu kelas tertentu dalam klasifikasi tutupan lahan. Akurasi yang dibutuhkan membantu memastikan kualitas peta tutupan lahan yang lebih baik ketika peta khusus digunakan untuk memvalidasi peta produk global.

Kerapatan Vegetasi dari Transformasi Indeks Vegetasi

Hasil pengolahan data citra satelit Sentinel 2 multitemporal tahun 2018 dan 2022 adalah citra komposit FCC (*false colour composit*) RGB 1182, citra indeks vegetasi GNDVI, dan citra GNDVI terklasifikasi. Hasil klasifikasi digital menunjukkan sebaran ekosistem mangrove di sekitar area studi yang lebih jelas dengan kondisi di lapangan. Informasi objek yang teridentifikasi juga lebih detil karena nilai spektral dari citra mampu mengklasifikasi tutupan lahan mangrove dan non mangrove yang ditunjukkan pada tabel 2. Nilai kerapatan mangrove diperoleh dari transformasi indeks vegetasi yang didasarkan pada gabungan antara kanal SWIR (band 11),

kanal *Red Edge* (band 8A), dan kanal *Blue* (band 2). Dengan estimasi bahwa pada area yang ditutupi vegetasi dan tanah hanya nilai vegetasinya saja yang diterima sehingga hasilnya adalah citra dengan reflektan vegetasi dalam nilai riil dengan nilai (+) adalah reflektan vegetasi. Hasil transformasi indeks vegetasi dari algoritma GNDVI keseluruhan pada Gambar 2 dengan nilai kerapatan berkisar antara 1 - 9 Nilai tersebut dibagi kedalam 1 kelas non vegetasi ( $\leq 3$ ) dan 4 kelas kerapatan vegetasi yang bervariasi dengan status tingkat kerapatan jarang ( $\leq 5$ ), sedang ( $\leq 7$ ), lebat ( $\leq 8$ ), dan sangat lebat ( $\leq 9$ ).

**Tabel 2.** Tingkat kerapatan vegetasi menggunakan algoritma GNDVI di Kecamatan Pulau Derawan tahun 2018 dan 2022.

Tingkat Kerapatan	Tahun 2018		Tahun 2022	
	Ha	%	Ha	%
Non vegetasi	3693	7.59	2097	4.31
Jarang	19571	40.22	3302	6.79
Sedang	17236	35.42	6183	12.71
Lebat	7670	15.76	19671	40.43
Sangat lebat	485	1.00	17401	35.76
Jumlah	48655	100.00	48654	100.00

Adapun kelas kerapatan yang diperoleh dari algoritma GNDVI masih bersifat subjektif karena belum ada penelitian yang menjelaskan secara pasti tingkat kerapatan dari tajuk vegetasi berdasarkan nilai histogram. Namun dari 4 kelas kerapatan yang dihasilkan dapat menjadi acuan untuk identifikasi tingkat kerapatan dan perubahan yang terjadi di Kecamatan Pulau Derawan. Adapun tabel 2 menunjukkan tingkat kerapatan vegetasi mangrove.

Jika ditinjau Kembali dari citra FCC RGB maka terdapat kendala yang terjadi, yaitu masih sulit menghubungkan nilai indeks kerapatan yang diperoleh dengan kerapatan mangrove karena dari citra komposit terlihat secara visual adanya vegetasi lainnya, misalkan sawit

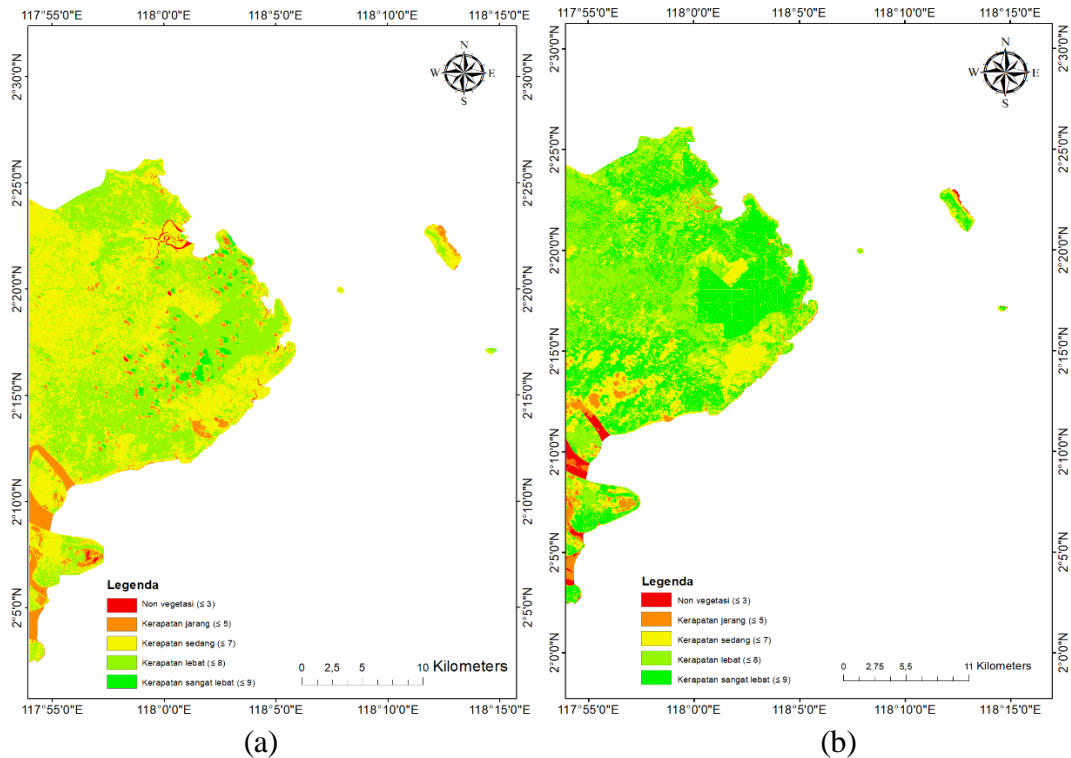
dan tambak yang juga berpengaruh terhadap luas tingkat kerapatan. Pada citra terlihat besarnya persentase tutupan lahan bervegetasi di area Kecamatan Pulau Derawan, dimana pada tahun 2018 sebesar 44962 Ha dan 2022 sebesar 46557 Ha.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa luas eksisting mangrove di Kecamatan Pulau Derawan pada tahun 2018 sebesar 3235 Ha dan di tahun 2022 berubah menjadi 3539 Ha. Kondisi eksisting indeks kerapatan vegetasi mangrove dari tahun 2018 – 2022 terdiri dari mangrove kerapatan sedang, lebat, dan sangat lebat.

Penaikan luas mangrove yang tersebar disebabkan oleh adanya program pengelolaan konservatif hutan mangrove

berbasis masyarakat lokal seperti di Tanjung Batu, Teluk Semanting, dan Pegat (Muhandi et al., 2021). Adapun penurunan luas mangrove yang tersebar umumnya disebabkan oleh faktor di lapangan yang menunjukkan adanya aktivitas manusia seperti penebangan pohon, alih fungsi lahan untuk kebun

kelapa sawit dan tambak, sehingga dapat berpengaruh pada kondisi tutupan lahan hutan mangrove. Hasilnya dapat menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan seperti pengurangan *blue carbon*, mengganggu habitat hutan mangrove, dan berdampak terjadinya akresi/sedimentasi (Dewi et al., 2020a).



Gambar 2. Kerapatan vegetasi area studi tahun (a) 2018, (b) 2022. Pembahasan.

### Perubahan Tutupan Lahan

Berdasarkan Gambar 3, lahan tanaman selalu mendominasi lahan yang terluas pada wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan di antara lima jenis LULC dari lima tahun yang dianalisis selama periode dari 2018 hingga 2022. Lahan tanaman menempati area seluas 32991 ha di tahun 2018 dan 30927 ha di tahun 2022, masing-masing menyumbang persentase luas sebesar 71.04% dan 65.01% dari total luas wilayah di area studi. Selama lima tahun, hanya sebagian kecil dari lahan tanaman berubah menjadi lahan basah, lahan kering, atau lahan mangrove dan masing-masing menyumbang 5.15%, 5.13%, dan 7.44%

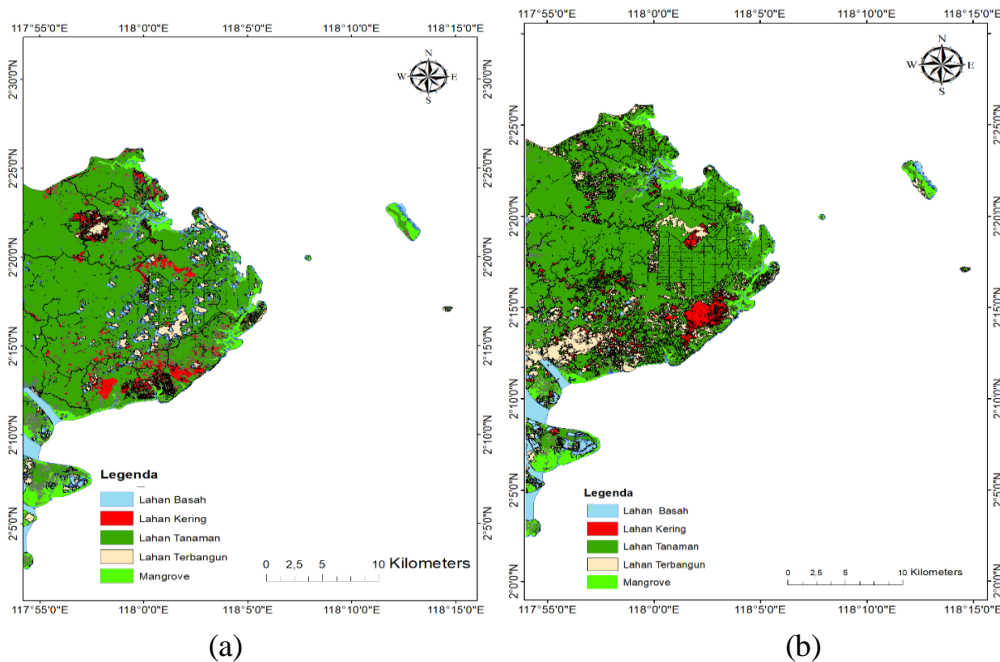
dari tutupan lahan. Sebaliknya, pada tahun 2018 hingga 2022 lahan terbangun sejumlah 3828 ha mengalami kenaikan menjadi 8214 ha yang ditentukan 8.24% - 17.27%. Hal ini menunjukkan bahwa lahan terbangun merupakan lahan terbesar hasil konversi dari lahan tanaman, lahan mangrove, lahan basah, dan lahan kering yang berubah untuk memenuhi kebutuhan pengembangan lahan di wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan.

Lahan terbangun merupakan penggunaan lahan terbesar kedua di kecamatan ini di tahun 2018 dengan luas 3828 ha atau 8.24% dari keseluruhan daerah kecamatan. Perkembangan

ekonomi pada periode tahun 2018 hingga 2022 telah menghasilkan kenaikan sekitar 9.03%, lahan tanaman, lahan mangrove, lahan basah, dan lahan kering diubah menjadi lahan terbangun.

Lahan terbangun di wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan bervariasi dari 8.24% hingga 17.27%

selama periode 2018 hingga 2022. Hasil klasifikasi tutupan lahan menunjukkan bahwa kawasan terbangun dalam kurung waktu lima tahun adalah 3828 ha pada tahun 2018 dan 8214 ha pada tahun 2022. Pada periode 1995 hingga 2005, kawasan terbangun meningkat dengan laju rata-rata 877 ha/tahun.



**Gambar 3.** Peta LULC area studi tahun (a) 2018, (b) 2022.

Berdasarkan (Dewi et al., 2020a) adanya dampak konversi vegetasi mangrove yang cukup besar menjadi lahan kering, lahan terbangun, maupun lahan basah di Tanjung Batu Kecamatan Pulau Derawan mengakibatkan akumulasi sedimen. Proses konversi tutupan lahan memiliki korelasi dengan besarnya akumulasi sedimen karena wilayah mangrove terkonversi akan merubah pola pengendapan sedimen dan berkurangnya vegetasi mangrove. Rata-rata laju akumulasi sedimen di setiap lapisan kedalaman Stasiun penelitian 1, 3 dan 5 adalah 0.15, 0.12 dan 0.07 g cm<sup>-2</sup> tahun<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya peningkatan akumulasi dari laut (sta 1), kemudian bibir sungai (sta 3) dan terendah dekat daratan sungai (sta 5).

Kemudian laju akumulasi sedimen selama 2 dekade terakhir antara tahun 1998-2018 berkisar 0.09 - 0.20 g cm<sup>-2</sup> tahun<sup>-1</sup>. Proses akumulasi sedimen tersebut menunjukkan nilai yang lebih tinggi di sta 1 dekat pantai/laut dengan kerapatan mangrove didominasi oleh pohon berdiameter > 5 cm, sedangkan paling rendah di sta 5 dekat sungai daratan dengan kerapatan mangrove didominasi oleh pohon berdiameter < 5 cm.

#### Perubahan Hutan Mangrove

Penggunaan lahan untuk mangrove mengalami penurunan dari tahun 2018 sampai dengan 2022. Secara lebih detil perubahan spasial tutupan lahan mangrove dalam lima tahun

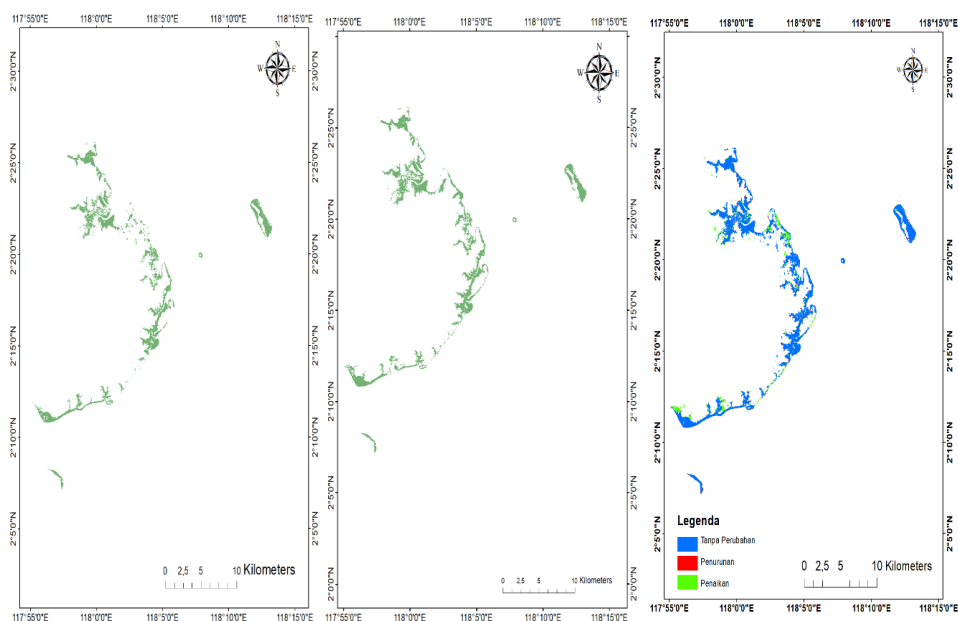
terakhir ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pada tahun 2018, luas tutupan lahan mangrove adalah 3235 ha atau 6.97% dari total wilayah Kecamatan Pulau Derawan (Gambar 4a). Pada tahun 2022, luas tutupan lahan mangrove mengalami kenaikan dan penurunan yang menyebar dan terakumulasi menjadi seluas 3539 ha atau sekitar 7.44% dari luas daratan (Gambar. 4b). Perubahan hutan mangrove dari tahun 2018 ke tahun 2022 sebesar 304 ha atau 8.59 % dari total luasan mangrove. Rata-rata perubahan luas hutan mangrove adalah 60.8 ha/tahun atau 1.72%/tahun.

Ada sekitar 304 ha mangrove berubah menjadi lahan basah, lahan terbangun, dan lahan kering yang merupakan 8.59% dari mangrove yang dikembangkan untuk penggunaan tambak, bangunan DUDI (dunia usaha dan industri) kelapa sawit, dan akibat dari degradasi mangrove.

#### Upaya Konservasi LULC dan Tutupan Lahan Mangrove

Kecamatan Pulau Derawan merupakan salah satu wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil Kabupaten Berau yang menjadi pusat destinasi pariwisata mangrove, terumbu karang, hiu paus, penyu, dan banyak spot lainnya yang tersedia. Kecamatan Pulau Derawan merupakan salah satu daerah pusat ekonomi pariwisata pesisir dan kelautan di Provinsi Kalimantan Timur bahkan Indonesia maupun kelas dunia dan sedang menghadapi pertumbuhan yang luar biasa dalam 1 dekade terakhir (Mukhlisi, 2018).

Berdasarkan data (BPS, 2021), total luas tanam perkebunan menurut jenis komoditas adalah kelapa sawit 8443.9 ha (98.26%), lada 10.9 ha (0.13%), kelapa 108.0 ha (1.26%), karet 17.0 ha (0.20%), dan kakao 14.0 (0.16%) yang dikelola oleh DUDI skala menengah dan besar. Perkembangan ekonomi dari keberadaan DUDI yang cukup pesat telah menyebabkan perubahan signifikan dari LULC, terutama ekspansi yang pesat dari kawasan DUDI dengan permukiman (Penyusun, 2020).



**Gambar 4.** Peta distribusi mangrove pedalaman dan pesisir di Kecamatan Pulau Derawan pada (a) 2018, (b) 2022, dan (c) perubahan antara lima tahun terakhir.

Pertumbuhan lahan terbangun daerah terutama terjadi di utara, timur, dan tenggara dari kecamatan. Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa area terbangun terutama didistribusikan di sepanjang wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan.

Pengembangan DUDI telah menyebabkan pertumbuhan yang nyata dari area terbangun di kecamatan dan juga membuat perubahan signifikan pada LULC dan mangrove (Bastian et al., 2017).

Sebagai daerah reformasi ekonomi yang memiliki potensi manfaat sinkron untuk pembangunan ekonomi di masa sekarang dan masa yang akan datang. Berbagai prasarana infrastruktur telah dikembangkan seperti sistem jalan, pelabuhan, transportasi laut, utilitas, dan ketersediaan SDM telah berhasil menarik investasi ke Kecamatan Pulau Derawan (Penyusun, 2020).

Pesatnya pertumbuhan DUDI di Kecamatan Pulau Derawan juga akan menghadirkan risiko terhadap hutan mangrove (Yuniarti et al., 2016). Hutan mangrove di pesisir Kecamatan Pulau Derawan telah mengalami degradasi akibat deforestasi menjadi perkebunan maupun tambak. Penurunan akibat kerusakan hutan mangrove telah menyebabkan peningkatan abrasi, penurunan keanekaragaman hayati, dan berkurangnya pendapatan tangkapan pesisir nelayan yang pada akhirnya mempengaruhi perekonomian masyarakat

pesisir pada umumnya (Muhamad et al., 2021).

Perubahan LULC telah menyebabkan tingkat sedimentasi yang cukup signifikan di wilayah pesisir Kecamatan Derawan akibat dari aktivitas manusia. Selain efek interaksi alami antara sedimentasi dan mangrove, kegiatan antropogenik positif juga merupakan sumber yang bermanfaat bagi peningkatan mangrove di bagian utara, timur, dan tenggara kecamatan (Dewi et al., 2020b).

Kawasan mangrove perlu dikelola secara konservatif sebagai tujuan ekowisata seperti yang telah di kembangkan di Desa Tanjung Batu, Teluk Semanting, dan Pegat berupa pengelolaan hutan mangrove berbasis masyarakat dan PIM (Pusat Informasi Mangrove). Dari perspektif pembangunan jangka panjang, berdirinya struktur hutan mangrove akan melalui proses dinamis karena pertumbuhan dan kompetisi di antara individu pohon dan spesies berdaun lebar yang berpotensi invasif (Mukhlisi & Sidiyasa, 2014). Sehingga dengan adanya dukungan dari pemerintah pusat, pemerintah daerah, *stake holder* dan DUDI terkait yang berorientasi ramah lingkungan terhadap pemanfaatan hutan rakyat serta pengelolaan struktur tegakan yang tepat, ekosistem mangrove pesisir di kawasan ini harus dapat mencapai keberlanjutan untuk mengembangkan ekowisata dan parekraf (pariwisata dan ekonomi kreatif) (Mukhlisi, 2018).

**Tabel 3.** Variasi LULC di Kecamatan Pulau Derawan tahun 2018 dan 2022.

Kelas	Tahun 2018		Tahun 2022	
	Area (ha)	(%)	Area (ha)	(%)
Mangrove	5449	11.20	4620	9.50
Lahan Tanaman	32991	67.81	30927	63.57
Lahan Basah	2674	5.50	2452	5.04
Lahan Kering	3711	7.63	2440	5.02
Lahan Terbangun	3828	7.87	8214	16.88
Hasil Akhir	48653	100.00	48653	100.00

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian existing peta tutupan lahan mangrove untuk updating status sebaran luasan, dan tingkat kerapatan dengan penerapan algoritma *machine learning* dan indeks vegetasi maka diperoleh peta LULC di wilayah pesisir Kecamatan Pulau Derawan. Kemudian dapat disimpulkan bahwa *land cover signature classification* citra multispektral Sentinel 2B hasil dari algoritma *maximum likelihood* dapat mencapai akurasi minimum pada tingkat OA = 81% dan kappa = 2.00. Adapun tingkat kerapatan hasil algoritma GNDVI keseluruhan dengan nilai kerapatan berkisar antara 1 - 9 Nilai tersebut dibagi kedalam 1 kelas non vegetasi ( $\leq 3$ ) dan 4 kelas kerapatan vegetasi yang bervariasi dengan status tingkat kerapatan jarang ( $\leq 5$ ), sedang ( $\leq 7$ ), lebat ( $\leq 8$ ), dan sangat lebat ( $\leq 9$ ). Hasilnya hampir sama dengan penelitian (Arhatin & Wahyuningrum, 2013). Peta *time series* LULC 2018 – 2022 dengan akurasi yang signifikan dapat memberikan informasi yang bermanfaat untuk mengkaji perubahan LULC dan juga hutan mangrove di Kecamatan Pulau Derawan Kabupaten Berau. Berdasarkan perubahan interior mangrove di wilayah pesisir, tampaknya cukup tepat untuk menyimpulkan bahwa faktor antropogenik dan faktor alami telah berhasil membawa dampak perubahan keseimbangan pemanfaatan dan pengembangan lahan dan sifat ekosistem pesisir. Namun, perlu diperhatikan bahwa sebagian hutan mangrove di sepanjang wilayah pesisir kecamatan yang mengalami deforestasi untuk kepentingan DUDI. Meskipun konversi LULC membantu mendukung kegiatan ekonomi dengan cara yang konstan, kapasitas untuk mengubah hutan mangrove tersebut menjadi penggunaan lahan yang berorientasi ekonomi harus dikaji dampak negatif yang ditimbulkan.

Penelitian selanjutnya untuk mengkaji kapasitas simpanan *blue carbon* pada mangrove tersebut menggunakan citra satelit resolusi tinggi bebas awan  $<10\%$  dan atau foto udara dari drone dengan metode lain dari algoritma *machine learning* dan indeks vegetasi direkomendasikan untuk mendukung rencana pengelolaan yang tepat untuk mengatur prioritas pengembangan penggunaan lahan dan konservasi alam di kecamatan tersebut.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih dalam penulisan Jurnal ilmiah ini kepada pihak Ditjen Vokasi Kemdikbudristek yang telah memberikan bantuan Hibah Dana Penelitian Dosen Pemula, pihak P3KM Politani Samarinda yang telah memfasilitasi Penulis dalam usulan dan surat tugas pelaksanaan Penelitian Dosen Pemula, serta pihak masyarakat Kecamatan Pulau Derawan yang telah menerima Penulis dengan ramah saat kunjungan lapangan dan memberikan informasi tentang status hutan mangrove di daerah tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abd el-sadek, E. S., Elbeih, S., & Negm, A. (2022). Coastal and landuse changes of Burullus Lake, Egypt: A comparison using Landsat and Sentinel-2 satellite images. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 25(3), 815–829.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.07.006>
- Arhatin, R. E., & Wahyuningrum, I. (2013). *ALGORITMA INDEKS VEGETASI MANGROVE MENGGUNAKAN SATELIT LANDSAT ETM+ (Vegetation Index Algorithm for Mangrove*

- Derived from Landsat ETM+). BULETIN PSP (2013) 21 (2) 215-227.*  
<https://journal.ipb.ac.id/index.php/bulpsp/article/view/25293/16465>
- Bastian, Mansyur, R., Majid, A., Aris, J., Hamzah, Aini, F., Hindarto, P., Syamsurizal, I., Arminanda, B., Hadipriyatna, R., Sorang, H., & Wijaya, A. (2017). *RENCANA TATA GUNA LAHAN UNTUK MENDUKUNG PEMBANGUNAN RENDAH KARBON KABUPATEN BERAU*.  
<http://satudata.beraukab.go.id/documents/26/link>
- Bogoliubova, A., & Tymków, P. Ł. (2014). *ACCURACY ASSESSMENT OF AUTOMATIC IMAGE PROCESSING FOR LAND COVER CLASSIFICATION OF ST. PETERSBURG PROTECTED AREA\** 1.  
<https://www.researchgate.net/publication/295813339>
- BPS. (2021). *Kecamatan Pulau Derawan Dalam Angka 2021*. BPS Berau.  
<https://beraukab.bps.go.id/publication/2021/09/24/81d189a520efcb61063e4cf4/kecamatan-pulau-derawan-dalam-angka-2021.html>
- Dewi, I. S., Prariono, T., Arman, A., & Koropitan, A. F. (2020a). LAJU AKUMULASI SEDIMEN MANGROVE DI TANJUNG BATU, KEPULAUAN DERAWAN KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 327–340.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28427>
- Dewi, I. S., Prariono, T., Arman, A., & Koropitan, A. F. (2020b). LAJU AKUMULASI SEDIMEN MANGROVE DI TANJUNG BATU, KEPULAUAN DERAWAN KALIMANTAN TIMUR. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 327–340.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.28427>
- Dharmawan, I. W. E. (2014). *Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove* (Pramudji, Ed.; Issue 1). PT. Sarana Komunikasi Utama. [www.sainsindonesia.co.id](http://www.sainsindonesia.co.id)
- Djamaluddin, R. (2018). *Mangrove Biologi, Ekologi, Rehabilitasi, dan Konservasi*. Unsrat Press.  
<http://repo.unsrat.ac.id/id/eprint/2658>
- Firmansyah, A., Triana, E., Arifin, N., Nurfalah, I., & Ridwana, R. (2021). Pemanfaatan Citra Satelit Landsat 8 Dan Sentinel 2A Dalam Identifikasi Lahan Kritis Mangrove Di Wilayah Kecamatan Ciemas Kabupaten Sukabumi. *JPIG (Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Geografi)*, 6(1), 21–34.  
<http://ejournal.unikama.ac.id/index.php/JPIG/>
- Guo, Y., Liao, J., & Shen, G. (2021). Mapping large-scale mangroves along the maritime silk road from 1990 to 2015 using a novel deep learning model and landsat data. *Remote Sensing*, 13(2), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/rs13020245>
- Iksan, M., al Zarliani, W. O. D., Nare, L., Hafidhawati, S., & Baena, F. (2019). Biomass and Carbon Uptake of Mangrove Forests Pohorua Village, Muna Regency. *International Journal of Applied Biology*, 57–64.  
<https://journal.unhas.ac.id/index.p>



- [hp/ijoab/article/download/8448/4595](https://doi.org/10.31293/agrifor.v22i1.6624)
- Marini. (2017). *Mangrove Citra Penginderaan Jauh dan Identifikasinya*. Penerbit IPB Press. <https://www.ipbpress.com/>
- Maryantika, N., & Lin, C. (2017). Exploring changes of land use and mangrove distribution in the economic area of Sidoarjo District, East Java using multi-temporal Landsat images. *Information Processing in Agriculture*, 4(4), 321–332. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.06.003>
- Maulani, A., Taufiq-SPJ, N., & Pratikto, I. (2021). Perubahan Lahan Mangrove di Pesisir Muara Gembong, Bekasi, Jawa Barat. *Journal of Marine Research*, 10(1), 55–63. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28396>
- Mondal, P., Liu, X., & Fatoyinbo, T. E. (2019). Evaluating Combinations of Sentinel-2 Data and Machine-Learning Algorithms for Mangrove Mapping in West Africa. *MDPI*, 11(2929), 2928. <https://doi.org/doi:10.3390/rs11242928>
- Muhdi, Rohaniah, Wibowo, T., Sholeh, M., Aprilia Rahmawati, U., Kusumo Dewi, O., & Aidilia Syafitri, C. (2021). *KAJIAN FISKAL REGIONAL PROVINSI KALIMANTAN TIMUR TRIWULAN III 2021*. <https://djp.kemenkeu.go.id/kanwil/kaltim/id/data-publikasi/pub/kajian-fiskal-regional.html>
- Mukhlisi, M. (2018). POTENSI PENGEMBANGAN EKOWISATA MANGROVE DI KAMPUNG TANJUNG BATU, KECAMATAN PULAU DERAWAN, KABUPATEN BERAU (Potential Development of Mangrove Ecotourism in Tanjung Batu Village, Derawan Island District, Berau Regency). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 24(1), 23. <https://doi.org/10.22146/jml.22939>
- Mukhlisi, & Sidiyasa, K. (2014). STRUKTUR DAN KOMPOSISI JENIS VEGETASI DI PUSAT INFORMASI MANGROVE (PIM) BERAU, KALIMANTAN TIMUR (Vegetation Structure and Species Composition of Mangrove Forest in Mangrove Information Centre of Berau, East Kalimantan)\*. *Indonesian Forest Rehabilitation Journal*, 2(1), 25–37. <http://ejournal.fordamof.org/ejournal-litbang/index.php/IFRJ/article/view/1457/1313>
- Penyusun, T. (2020). *Rencana Pengembangan Investasi Kawasan Industri Pariwisata di Pulau Derawan dan Sekitarnya*. Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Kalimantan Timur. <https://dpmptsp.kaltimprov.go.id/storage/download/ed9d332ddb919019049e518dd1c1513.pdf>
- Pottier, A., Catry, T., Trégarot, E., Maréchal, J. P., Fayad, V., David, G., Sidi Cheikh, M., & Failer, P. (2021). Mapping coastal marine ecosystems of the National Park of Banc d'Arguin (PNBA) in Mauritania using Sentinel-2 imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 102.

<https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102419>

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13874.63680>

- Purwanto, A. D., & Asriningrum, W. (2019). IDENTIFICATION OF MANGROVE FORESTS USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGERIES. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 16(1), 63–86. <https://doi.org/10.30536/j.ijereses.2019.v16.a3097>
- Rahadian, A., Prasetyo, B., Setiawan, Y., Dan, ), & Wikantika, K. (2019). TINJAUAN HISTORIS DATA DAN INFORMASI LUAS MANGROVE INDONESIA (A Historical Review of Data and Information of Indonesian Mangroves Area). *Media Konservasi*, 24(2), 163–178. <https://journal.ipb.ac.id/index.php/konservasi/article/download/2775/5/17758>
- Rahmanto, B. D. (2020). *Disampaikan Dalam Webinar “Development for Mangrove Monitoring Tools in Indonesia” PETA MANGROVE NASIONAL DAN STATUS EKOSISTEM MANGROVE DI INDONESIA.*
- Sahri, A. (2013). *Laporan Studi Pembaharuan Data Mangrove Kabupaten Berau Menggunakan Data Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2013 - The Nature Conservancy Berau Program Laporan Studi Pembaharuan Data Mangrove Kabupaten Berau Menggunakan Data Citra Satelit Landsat 8 Tahun 2013* (Issue January). The Nature Conservancy Berau Program.
- Spracklen, B., & Spracklen, D. v. (2021). Synergistic use of sentinel-1 and sentinel-2 to map natural forest and acacia plantation and stand ages in north-central vietnam. *Remote Sensing*, 13(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/rs13020185>
- Yuniarti, I., Triyanto, T., Wijaya, N. I., Lestari, F. S., Setiawan, F., & Sutrisno, S. (2016). MANGROVE OF BERAU: ECOLOGICAL CONDITION, FISHERIES, AND MANAGEMENT OPTIONS. *Indonesian Fisheries Research Journal*, 22(1), 37. <https://doi.org/10.15578/ifrj.22.1.2016.37-42>
- Zhang, R., Jia, M., Wang, Z., Zhou, Y., Mao, D., Ren, C., Zhao, C., & Liu, X. (2022). Tracking annual dynamics of mangrove forests in mangrove National Nature Reserves of China based on time series Sentinel-2 imagery during 2016–2020. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102918>
- Zhu, B., Liao, J., & Shen, G. (2021). Combining time series and land cover data for analyzing spatio-temporal changes in mangrove forests: A case study of Qinglangang Nature Reserve, Hainan, China. *Ecological Indicators*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108135>