

PEMETAAN SEBARAN DAN KERAPATAN HUTAN MANGROVE MENGUNAKAN MACHINE LEARNING PADA GOOGLE EARTH ENGINE DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DI PULAU BALI

Mapping of Mangrove Forest Distribution and Density Using Machine Learning on Google Earth Engine and Geographical Information Systems in Bali Island

Husnayaen^{1*}, Filosofia Amela², Dwi Puspa Arini¹, I Kadek Adiana Putra³

1 Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Sains dan Teknologi Nahdlatul Ulama Bali, Jl.
Pura Demak Barat No. 31, Denpasar, Bali 80119

2 Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Lampung, Jl. Drs. Warsito No.76 Telukbetung,
Kota Bandar Lampung 35215

3 Program Studi Teknik Informatika, Institut Bisnis dan Teknologi Indonesia, Jl. Tukad
Pakerisan No. 97 Panjer, Denpasar, Bali 80225

*Korespondensi email : husnayaen.23@gmail.com

(Received 31 Januari 2023; Accepted 27 Februari 2023)

ABSTRAK

Hutan mangrove sedang menghadapi masalah seperti deforestasi, sehingga perlu pemantauan dan pemetaan hutan mangrove khususnya di Pulau Bali. Penyebab utama hilangnya hutan mangrove adalah kegiatan antropogenik, termasuk akuakultur, pertanian, dan pembangunan perkotaan. Di wilayah yang luas seperti pulau Bali, penyediaan data sebaran mangrove dan pemantauan perubahan kondisi vegetasi memerlukan waktu proses yang lama bila dilakukan dengan interpretasi citra secara konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi luasan sebaran dan kerapatan hutan mangrove untuk memberikan informasi terbaru kepada pemerintah. Metode yang digunakan adalah CART Supervised Classification di Google Earth Engine (GEE) dan Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) di ArcMap. Platform Google Earth Engine (GEE) memiliki koneksi big data yang dapat mengolah data berbasis cloud dengan berbagai algoritma machine learning. Kajian ini berfokus pada tiga zona utama yaitu zona A meliputi Kabupaten Buleleng dan Jembrana, Zona B yang meliputi Kota Denpasar dan Kabupaten Badung, dan Zona C yang masuk dalam Kabupaten Klungkung. Hasil pemetaan sebaran hutan mangrove memiliki nilai *overall accuracy* sebesar 95.7% sedangkan *kappa accuracy* sebesar 91.2%. Total luas hutan mangrove pada tahun 2021 di Pulau Bali adalah 2,488.7 Ha. Kerapatan hutan mangrove terlebat terletak di kawasan Tahura Ngurah Rai (Zona B) yaitu Kota Denpasar dan Kabupaten Badung masing-masing 335.9 Ha dan 261.1 Ha. Kota Denpasar dan Kabupaten Badung juga merupakan dua kawasan mangrove terluas di Pulau Bali dengan luas masing-masing adalah 590.5 Ha dan 662.5 Ha.

Kata Kunci: CART Supervised Classification, Google Earth Engine, Mangrove, NDVI, Provinsi Bali

ABSTRACT

Mangrove forests are facing problems such as deforestation, so monitoring and mapping of mangrove forests are needed, especially on the island of Bali. The leading causes of the loss of mangrove forests are anthropogenic activities, including aquaculture, agriculture, and urban development. In a large area such as the island of Bali, providing data on the distribution of mangroves and monitoring changes in vegetation conditions requires an extended processing time when done with conventional image interpretation. This study aims to identify mangrove forests' distribution area and density to provide the government with the latest information. The methods used are CART Supervised Classification on Google Earth Engine (GEE) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) on ArcMap. The Google Earth Engine (GEE) platform has a significant data connection to process cloud-based data using machine learning algorithms. This study focuses on three main zones, namely zone A, which includes Buleleng and Jembrana Regencies. Zone B covers Denpasar City and Badung Regency, and Zone C is included in Klungkung Regency. The results of mapping the distribution of mangrove forests have an overall accuracy value of 95.7%, while kappa accuracy is 91.2%. The total area of mangrove forests in 2021 on the island of Bali is 2,488.7 Ha. The densest mangrove forest density is in the Tahura Ngurah Rai area (Zone B), namely Denpasar City and Badung Regency, respectively 335.9 Ha and 261.1 Ha. Denpasar City and Badung Regency are also the two largest mangrove areas on the island of Bali, with an area of 590.5 Ha and 662.5 Ha, respectively.

Keywords: CART Supervised Classification, Google Earth Engine, Mangrove, NDVI, Bali Province

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan wilayah pesisir yang luas dan garis pantai yang panjang. Indonesia memiliki luas mangrove terluas yaitu 3,112,989 ha atau 22.6% dari total luas mangrove dunia bahkan lebih banyak dari Australia (7.1%) dan Brazil (7.0%) (Giri *et al.*, 2011). Hutan mangrove merupakan vegetasi tropis dan subtropis yang dapat tumbuh dan berkembang di daerah pasang surut air laut (Hayati *et al.*, 2017). Ekosistem mangrove yang tumbuh di wilayah pesisir dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain salinitas, kondisi tanah, pasang surut, pencemaran organik dan anorganik (Habdiansyah *et al.*, 2015).

Produktivitas ekosistem hutan mangrove yang tinggi memperkaya wilayah pesisir sehingga mempengaruhi pertumbuhan perikanan dan budidaya tambak tradisional (Gevana *et al.*, 2015). Mangrove memberikan kontribusi penting bagi mata pencaharian masyarakat pesisir melalui perikanan (Ermgassen *et al.*, 2021). Ekosistem mangrove juga berperan penting di wilayah pesisir, memberikan berbagai manfaat berbeda untuk masyarakat pesisir (Oudenhoven *et al.*, 2015). Misalnya, mangrove memainkan peran penting dalam siklus karbon global. Mangrove dapat secara efektif menyerap karbon dengan cara menyerap karbon dalam biomassa dan sedimen di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah (Jennerjahn, 2021). Konservasi mangrove kaya karbon di kepulauan Indonesia harus menjadi prioritas utama sebagai bagian dari strategi mitigasi perubahan iklim (Murdiyarso *et al.*, 2015). Mangrove juga dapat melindungi tanah dari erosi dan menstabilkan garis pantai (Besset *et al.*, 2019).

Hutan Mangrove di Provinsi Bali tersebar pada beberapa tempat, yang pertama terletak di Taman Nasional Bali Barat (TNBB) yang merupakan tempat tujuan wisata, penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan (Rani *et al.*, 2019). Taman Nasional Bali Barat memiliki potensi yang unik yaitu adanya spesies Jalak Bali (*Leucopsar rothschildi*) yang merupakan

spesies burung paling langka di dunia. Kedua berada di Tanjung Benoa dan Pulau Serangan yang dikenal dengan TAHURA atau Taman Hutan Raya Ngurah Rai. Secara administratif, TAHURA terletak di dua wilayah administratif, yaitu Kabupaten Badung dan Kota Denpasar. TAHURA memiliki luas 1,373.5 Ha dan berpotensi membentuk panorama alam yang indah di lokasi strategis karena berada pada kawasan pertumbuhan bisnis dan pariwisata Bali (Ketut *et al.*, 2016). Ketiga terletak di Nusa Lembongan yang menjadi tempat rekreasi hits dan populer dengan pesona alam yang menjadi daya tarik utama.

Hutan mangrove memiliki permasalahan yaitu deforestasi, sehingga perlu dilakukan pemantauan dan pemetaan ekosistem mangrove (Arfan, 2015). Hilangnya hutan mangrove secara global antara tahun 2000 dan 2016 adalah 3.363 km² (2.1%) dan diperkirakan 62% disebabkan oleh perubahan lahan, sebagian besar dari akuakultur dan konversi menjadi pertanian (Goldberg *et al.*, 2020). Penyebab utama hilangnya hutan mangrove adalah aktivitas antropogenik, termasuk akuakultur, pertanian, dan pembangunan perkotaan (Friess *et al.*, 2019). Laju degradasi hutan mangrove global yang mengkhawatirkan menunjukkan perlunya ketersediaan peta mangrove secara cepat, terkini dan akurat (Kamal *et al.*, 2020).

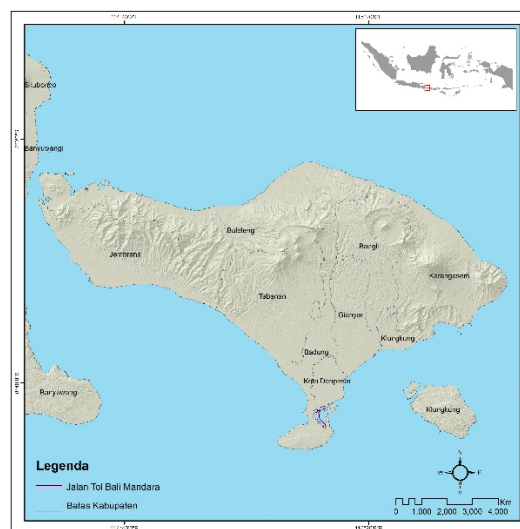
Penyediaan informasi tentang sebaran dan perubahan lahan hutan mangrove memerlukan waktu proses yang lama jika interpretasi citra dilakukan secara konvensional, terutama jika cakupan areanya yang luas. Ketersediaan platform Google Earth Engine (GEE) dapat menjadi solusi dari permasalahan tersebut. GEE mempunyai akses ke big data, dapat mengolah data berbasis cloud dan memiliki banyak algoritma machine learning (Fariz *et al.*, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi luasan sebaran dan kerapatan hutan mangrove di Pulau Bali. Analisis data yang diperoleh dapat menjadi informasi dan data terkini tentang luas dan kerapatan hutan mangrove, serta dapat digunakan oleh pemerintah dan pihak terkait sebagai kajian awal untuk pengelolaan kawasan pesisir di Pulau Bali.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April sampai Juni 2022 berlokasi di Pulau Bali, yang meliputi kawasan hutan mangrove yang tersebar di tiga zona yaitu zona A meliputi Kabupaten Buleleng dan Jembrana, Zona B yang meliputi Kota Denpasar dan Kabupaten Badung, Zona C yang masuk dalam Kabupaten Klungkung. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Pulau Bali.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer dan data citra satelit Tahun 2021 yang di akses melalui Google Earth Engine. Data citra satelit yang digunakan adalah Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 dengan perekaman Tahun 2021. Citra Landsat 8 Surface Reflectance siap digunakan karena telah dilakukan ortorektifikasi dan kalibrasi reflektan.

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah kawasan hutan mangrove hasil processing data satelite menggunakan machine learning pada Google Earth Engine. Kawasan hutan mangrove terletak di Pulau Bali, Indonesia.

Prosedur Penelitian

Machine Learning pada Google Earth Engine

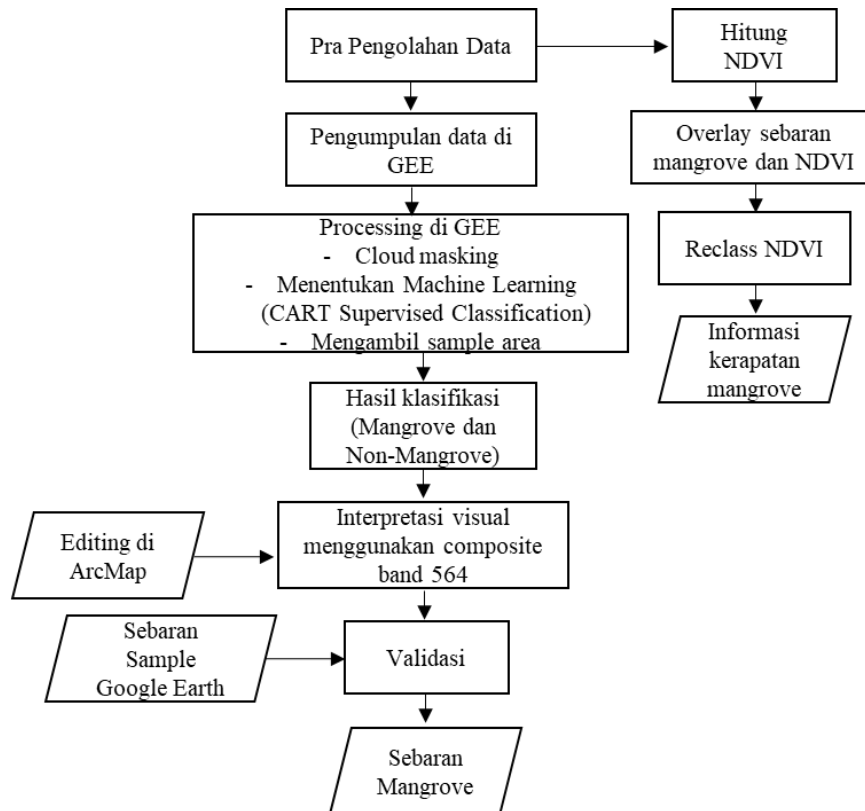
Machine learning adalah salah satu aplikasi dari kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Machine learning memberikan peluang untuk klasifikasi citra penginderaan jauh secara efektif dan efisien. Selain itu, dapat menangani data berdimensi tinggi seperti data penginderaan jauh dan menggabungkannya menjadi beberapa kelas dengan karakteristik yang kompleks (Maxwell *et al.*, 2018).

Pada saat ini, teknologi penginderaan jauh dapat digunakan melalui platform pemrosesan data geospasial berbasis cloud yang disebut Google Earth Engine (GEE). GEE memiliki kelebihan seperti akses ke data yang sangat besar dan pemrosesan data berbasis cloud, serta memiliki beberapa metode machine learning untuk analisis citra seperti random forest, CART dan sebagainya (Tamiminia *et al.*, 2020). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah CART (Classification and Regression Trees). Metode CART memiliki akurasi terbaik pada machine learning, diikuti oleh Random Forest dan kemudian Gradient Boosting (Ridho Fariz *et al.*, 2021).

Pada Google Earth Engine kita dapat melakukan pemrosesan data citra satelit melalui code editor. Code editor dapat menganalisis, menghasilkan dan memvisualisasikan data geospasial menggunakan JavaScript. Pra pengolahan data citra baik itu pengumpulan data satelit, cloud masking, pengambilan sampel area sampai klasifikasi mangrove dilakukan pada code editor Google Earth Engine. Sedangkan proses editing hasil klasifikasi dan proses NDVI menggunakan Sistem Informasi Geografis pada software ArcMap 10.3. Langkah-langkah pengolahan data satelit di Google Earth Engine menggunakan machine learning adalah sebagai berikut:

1. Tahapan pemetaan Mangrove dengan menggunakan Google Earth Engine (GEE) di mulai dengan pengumpulan (*collecting*) citra Landsat 8. Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 dengan perekaman Tahun 2021 digunakan sebagai data citra satelit.
2. Proses selanjutnya adalah melakukan reducer dengan mengambil nilai tengah dari kumpulan data (*collection*) yang bertujuan untuk mengurangi kumpulan gambar dengan menghitung nilai tengah dari semua nilai piksel citra pada rentang waktu tertentu. Metode ini berguna untuk mendapatkan citra yang bebas awan, bayangan awan dan reflektivitas tinggi pada tahun 2021.
3. Tahapan selanjutnya adalah pengambilan training (*sample area*) setiap penutupan lahan yaitu hutan Mangrove, hutan, non-hutan dan air. Komposit citra yang digunakan adalah RGB 564, dimana ketiga band tersebut termasuk dalam spektrum tampak dan inframerah-dekat.

4. Metode klasifikasi yang digunakan adalah CART Supervised Classification. Google Earth Engine dapat diakses melalui website <https://earthengine.google.com/>. Secara singkat alur pengolahan dan analisis data menggunakan GEE dan SIG dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Analisis Data Menggunakan Sistem Informasi Geografis

Identifikasi kerapatan vegetasi dapat dilakukan secara cepat dan akurat dengan interpretasi citra digital menggunakan transformasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Virma Aftriana *et al.*, 2013). Dengan metode ini dapat ditentukan luas vegetasi hutan dan vegetasi non hutan. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) memiliki nilai indeks berkisar dari -1 yang merupakan objek non vegetasi dan 1 yang merupakan objek vegetasi. Indeks vegetasi dapat ditentukan dengan rumus berikut:

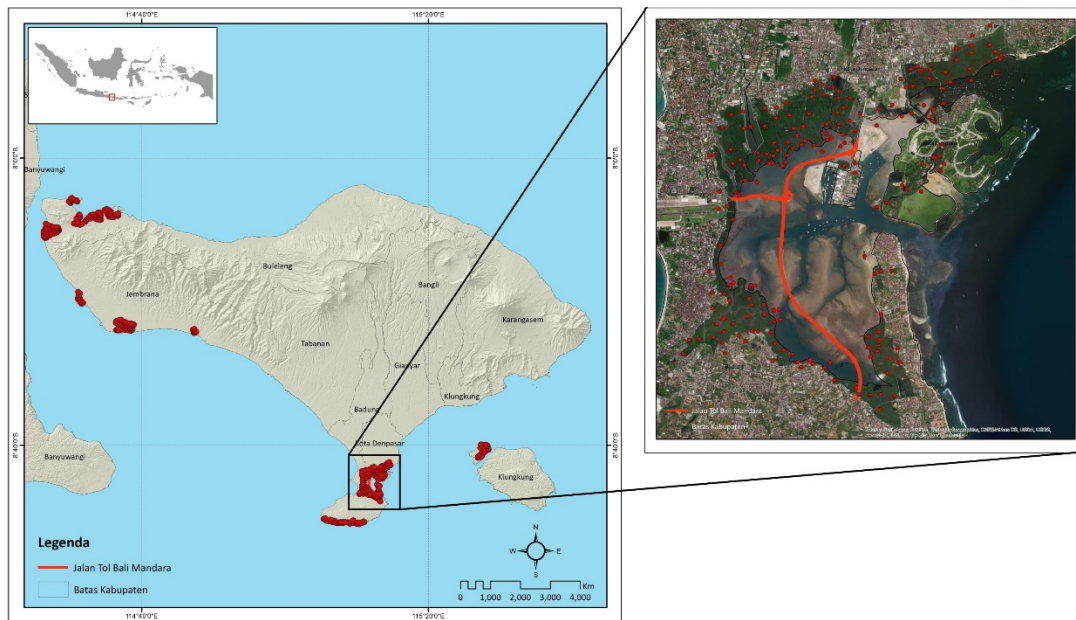
$$NDVI = \frac{(NIR - red)}{(NIR + red)}$$

Dimana *NIR* adalah band 5 dari data citra Landsat 8 dan *Red* adalah band 4 dari citra Landsat 8. Nilai kerapatan mangrove yang dihasilkan kemudian diklasifikasi ulang menjadi tiga kategori yaitu kerapatan jarang, sedang, dan lebat.

Validasi Sebaran Hutan Mangrove

Metode validasi pada penelitian ini adalah dengan membuat titik sampel secara acak (*random*) pada peta kawasan mangrove dan non-mangrove. Kemudian memeriksa setiap titik sampel pada peta sebaran hutan mangrove dan non-mangrove (hasil klasifikasi) menggunakan kumpulan gambar Quicbird dan Ikonos beresolusi tinggi pada Google Earth (Resolusi 0.6-1

m). Validasi yang dilakukan secara visual dengan menginterpretasikan setiap titik sampel yang berpusat pada satu titik (centroid) dan hanya pada kelas mangrove dan non-mangrove. Rentang akuisisi sumber data referensi yang digunakan adalah tahun 2021-2022 yang tersedia pada Google Earth. Peta sebaran titik sampel pada kawasan mangrove dan non mangrove dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Sebaran titik sample pada kawasan mangrove dan non mangrove.

Akurasi data hasil klasifikasi diuji dengan menggunakan metode *accuracy assessment*. Uji akurasi tersebut disajikan dalam bentuk matriks kesalahan (*error matrix*) atau yang disebut juga *confusion matrix*. Metode ini berupa tabulasi silang sederhana dalam baris dan kolom yang menyatakan jumlah unit sample antara hasil klasifikasi dari data penginderaan jauh dengan data referensi yang digunakan, baik berupa pengamatan langsung di lapangan (*ground truth*) atau menggunakan data penginderaan jauh beresolusi tinggi (Tosiani, 2020). Hasil pengujian akurasi pada matrik kesalahan berupa perhitungan *producer's accuracy*, *user's accuracy*, *overall accuracy* dan *kappa accuracy* (Hendrawan et al., 2018). Perhitungan uji akurasi menggunakan software excel dengan rumus di bawah ini.

$$\text{Overall Accuracy} = \left(\left(\sum_{i=1}^r X_{ii} \right) / N \right) \times 100\%$$

$$\text{Kappa Accuracy} = \left[\left(N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{1+} X_{+1} \right) / \left(N^2 - \sum_{i=1}^r X_{1+} X_{+1} \right) \right]$$

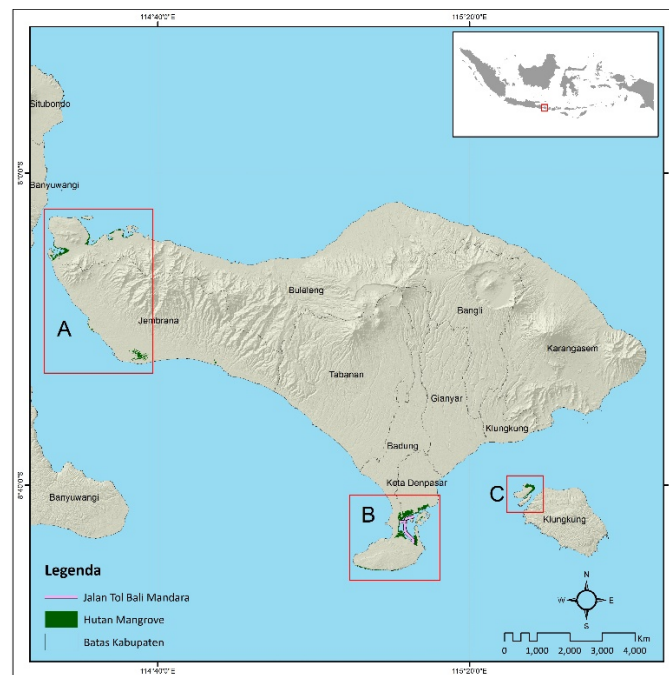
Keterangan:

- N = Total nomor sel di dalam *error matrix*
- X_{1+} = Total baris ke i
- X_{+1} = Total kolom ke-i
- X_{ii} = Jumlah nomor sel yang benar di dalam kelas
- r = Nomor baris didalam matriks

HASIL

Peta Sebaran Hutan Mangrove

Pada penelitian ini, pemetaan sebaran hutan mangrove menggunakan machine learning pada Google Earth Engine dengan metode CART Supervised Classification. Metode ini merupakan machine learning berbasis logika atau dikenal juga dengan machine learning berbasis pohon keputusan (*decision tree*). Pohon keputusan ini mirip dengan cara manusia mengambil keputusan, dimana terjadi proses pemilahan untuk menentukan informasi (Patel & Prajapati, 2018). Pada pemetaan tutupan lahan, pohon keputusan dibangun menggunakan pemisahan kelas berdasarkan nilai reflektansi citra satelit (Awaliyan & Sulistyoadi, 2018). Hasil klasifikasi yang diperoleh dengan Google Earth Engine kemudian disempurnakan melalui interpretasi visual di ArcMap dengan komposit Band 564 untuk memisahkan kelas-kelas yang misklasifikasi, seperti vegetasi lain yang masuk ke dalam kelas mangrove atau sebaliknya. Peta sebaran hutan mangrove di Pulau Bali ditunjukkan pada Gambar 4.

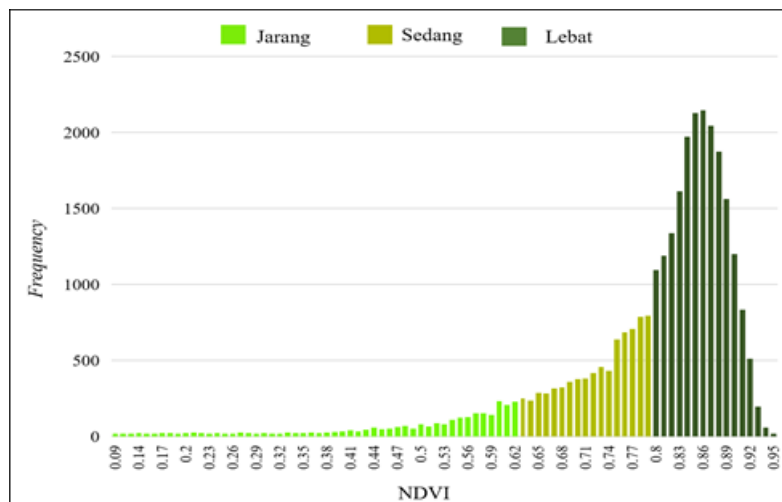


Gambar 4. Peta Sebaran hutan mangrove di Pulau Bali.

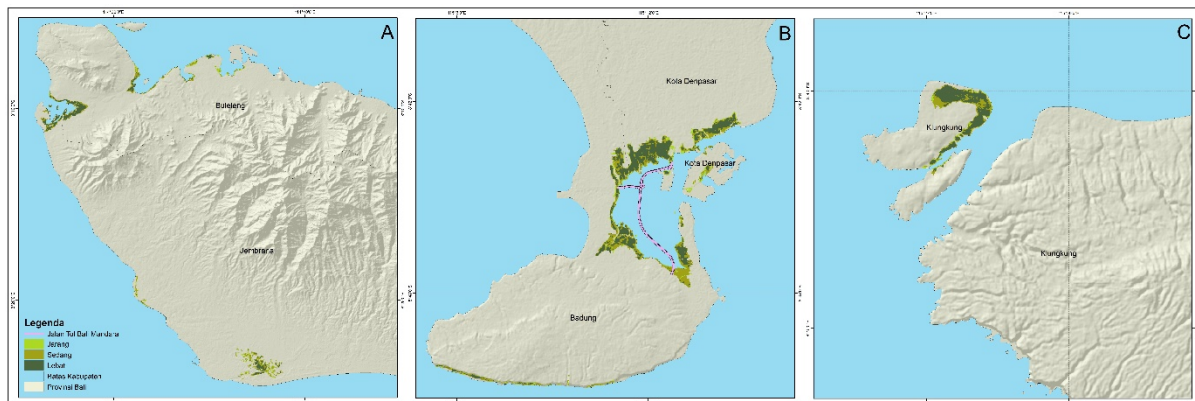
Kerapatan Hutan Mangrove

Indeks vegetasi adalah suatu algoritma yang diterapkan pada citra digital yang bertujuan untuk menonjolkan aspek vegetasi seperti kerapatan, jenis, umur, atau aspek vegetasi lainnya (Arnanto, 2015). Kisaran nilai NDVI selalu antara -1 hingga +1. Semakin tinggi nilai NDVI maka semakin tinggi pula nilai kerapatan vegetasinya (Irawan & Sirait, 2018). Grafik interval NDVI mangrove di Pulau Bali tahun 2021 ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada tahap analisis NDVI, kerapatan mangrove dibagi menjadi tiga kategori yaitu jarang, sedang dan lebat. Kerapatan jarang berkisar antara 0.36 sampai 0.61, untuk sedang antara 0.61-0.74 dan kerapatan lebat >0.74 (Selamat *et al.*, 2021). Berdasarkan pengolahan data pada penelitian ini kisaran nilai NDVI yang di dapatkan berkisar antara 0.09 hingga 0.95 seperti di sajikan pada Gambar 6. Peta kerapatan hutan mangrove di Pulau Bali ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Grafik Interval NDVI Mangrove di Pulau Bali Tahun 2021



Gambar 6. Peta Kerapatan Hutan Mangrove di Pulau Bali.

Luas hutan mangrove tertinggi di Pulau Bali terletak di Kabupaten Badung dan Kota Denpasar (Panel B), masing-masing seluas 662.5 Ha dan 590.5 Ha. Kabupaten Badung didominasi oleh kerapatan sedang hingga lebat dengan luas masing-masing adalah 337.4 Ha dan 261.1 Ha. Luas hutan mangrove Kota Denpasar adalah 590.5 Ha, dan sekitar 57% termasuk dalam kategori lebat (335.9 Ha). Di urutan kedua adalah Kabupaten Buleleng dan Jembrana (Panel A) dengan luas masing-masing adalah 470.3 Ha dan 539.9 Ha yang didominasi oleh kategori kerapatan sedang. Sedangkan luas hutan mangrove terendah terdapat pada Kabupaten Klungkung (Panel C) dengan luas 225.5 Ha dan sekitar 63% didominasi dalam kategori lebat (141.7 Ha). Luas kerapatan hutan mangrove per Kabupaten di Pulau Bali dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas kerapatan hutan mangrove per Kabupaten di Pulau Bali

No	Kabupaten	Kerapatan (Ha)			Total
		Jarang	Sedang	Lebat	
1	Badung	64.0	337.4	261.1	662.5
2	Buleleng	62.3	212.5	195.5	470.3
3	Jembrana	75.2	269.8	194.9	539.9
4	Klungkung	16.8	67.0	141.7	225.5
5	Kota Denpasar	76.6	177.9	335.9	590.5
Total		294.9	1,064.7	1,129.1	2,488.7

Uji Akurasi

Sebanyak 583 titik sampel digunakan sebagai data referensi untuk mengukur akurasi peta sebaran hutan mangrove pada tahun 2021. Akurasi dihitung dengan menggunakan *error matrix* dan *kappa accuracy*. Pengamatan setiap titik sampel dilakukan secara visual pada data Google Earth. Nilai akurasi yang dihitung adalah *user accuracy* dan *producer accuracy* untuk masing-masing kelas mangrove dan non mangrove dan juga nilai akurasi keseluruhan (*overall accuracy*). Nilai akurasi sebaran hutan mangrove dan non mangrove dengan metode titik tunggal (*centroid*) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai akurasi sebaran hutan mangrove dan non mangrove dengan metode titik tunggal (*Centroid*)

Kelas	Data Referensi		Total	User Accuracy
	Mangrove	Non-Mangrove		
Peta	Mangrove	13	331	96.1%
	Non-Mangrove	240	252	95.2%
Total	330	253	583	
Producer Accuracy	96.3%	94.8%		
Overall Accuracy	95.7%			
Kappa Accuracy	91.2%			

PEMBAHASAN

Peta sebaran hutan mangrove pada tahun 2021 dibagi menjadi 3 zona yaitu kawasan mangrove di Bali Barat (Zona A), terletak pada dua kabupaten yaitu kabupaten Buleleng dan Kabupaten Jembrana dengan luas masing-masing adalah 470 Ha dan 540 Ha. Kawasan hutan mangrove Tahura (Zona B), terletak pada dua kabupaten yaitu Kabupaten Badung dan Kota Denpasar dengan luas masing-masing adalah 663 Ha dan 590 Ha. Kawasan hutan mangrove Nusa Lembongan (Zona C) terletak pada Kabupaten Klungkung seluas 225 Ha. Sehingga dapat diketahui total luas sebaran hutan mangrove di Provinsi Bali adalah 2,489 Ha.

Pada penelitian ini uji akurasi dilakukan dengan membuat sebaran titik sampel secara acak (random) pada kawasan mangrove dan non-mangrove sebanyak 583 titik. Banyaknya jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian menentukan tingkat akurasi, semakin banyak input data yang digunakan maka akurasi pemetaan akan semakin meningkat (Arjasakusuma et al., 2021). Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa hasil klasifikasi sebaran hutan mangrove di Pulau Bali dengan metode CART supervised classification memiliki nilai *overall accuracy* sebesar 95.7% dan nilai *kappa accuracy* sebesar 91.2%. Nilai koefisien kappa diatas 81% mengindikasikan peluang akurasi yang sangat baik (Tosiani, 2020).

Pada tahap analisis kerapatan hutan mangrove, nilai NDVI yang diperoleh berkisar antara 0.09 hingga 0.95. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zona A yang berada di Kabupaten Buleleng dan Kabupaten Jembrana memiliki total luasan kerapatan mangrove sebesar 1010.2 Ha, dimana mangrove Kabupaten Jembrana lebih luas yaitu sekitar 7% atau 69.6 Ha dibandingkan dengan Kabupaten Buleleng. Nilai kerapatan mangrove dari jarang, sedang dan lebat di Kabupaten Jembrana masing-masing adalah 75.2 Ha, 269.8 Ha, dan 194.9Ha. Sedangkan nilai kerapatan mangrove di Kabupaten Buleleng adalah sebesar 62.3 Ha untuk kategori jarang, 212.5 Ha untuk kategori sedang dan 195.5 Ha untuk kategori lebat. Secara umum zona A yang berada di Taman Nasional Bali Barat mempunyai 3 zonasi pertumbuhan

mangrove, yaitu zona terdepan, zona pertengahan dan zona belakang. Zona terdepan dikuasai oleh jenis mangrove *Sonneratia* yaitu *Sonneratia alba*, dan jenis mangrove *Rhizophora* yaitu *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora apiculata*, sedangkan pada zona pertengahan ditumbuhi jenis *Rhizophora mucronata*, *Ceriops decandra*, *Ceriops tagal*, *Avicennia officinalis*, *Avicennia marina*, *Avicennia floridum*, *B. gymnorrhiza*, *O. octodonta* dan *X. granatum*, pada zona belakang atau terdalam tumbuh jenis mangrove *E. agallocha*, *L. racemosa* dan *P. acidula* (Marbawa, 2014).

Kawasan mangrove Tahura Ngurah Rai (Zona B) yang terletak di Kabupaten Badung dan Kota Denpasar memiliki total luasan mangrove sebesar 1253 Ha. Kabupaten Badung memiliki luas mangrove lebih besar dibandingkan Kota Denpasar yaitu sekitar 6% atau 72 Ha lebih luas. Kabupaten Buleleng memiliki mangrove dengan kategori jarang sebesar 64 Ha, kategori sedang sebesar 337.4 Ha, dan 261.1 Ha untuk kategori lebat. Sedangkan Kota Denpasar mempunyai mangrove dengan kategori lebat sebesar 335.9 Ha, kategori sedang sebesar 177.9 Ha, dan kategori jarang sebesar 76.6 Ha. Terdapat 2 jenis mangrove *Sonneratia* dan *Avicennia* yang ditemukan di zona B yaitu *Sonneratia alba*, *Sonneratia caseolaris*, *A. marina*, *A. lanata*. Ditemukan juga 3 jenis mangrove *Rhizophora* yaitu *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, dan *Rhizophora stylosa*. Mangrove jenis *Sonneratia alba* dan *Rhizophora apiculata* merupakan jenis mangrove yang mendominasi di Tahura Ngurah Rai (Baskara et al., 2019).

Mangrove pada zona C yang terletak di Kabupaten Klungkung diketahui mempunyai total luasan mangrove sebesar 225.5 Ha. Angka tersebut merupakan penggabungan dari 3 kategori kerapatan jarang, lebat dan sedang yang masing-masing nilainya adalah 16.8 ha untuk kategori jarang, 67 ha untuk kategori sedang, dan 141.7 Ha untuk kategori lebat. Terdapat 3 jenis mangrove jenis *Avicennia* dan *Rhizophora* yang ditemukan di zona C yaitu *Avicennia alba*, *Avicennia marina* (Forssk) Vierh, *Avicennia lanata* Ridley, *Rhizophora Stylosa* Griff, *Rhizophora mucronata* Blume, *Rhizophora mucronata* Lam (Penida & Klungkung, 2017).

KESIMPULAN

Hasil pemetaan sebaran mangrove menggunakan metode CART Supervised Classification diperoleh *overall accuracy* sebesar 95.7% dengan *kappa accuracy* sebesar 91.2%. Adapun Perhitungan kerapatan mangrove terlebat menggunakan NDVI terletak pada kawasan Tahura Ngurah Rai (Zona B) yaitu pada Kota Denpasar dan Kabupaten Badung masing-masing sebesar 335.9 Ha dan 261.1 Ha. Kota Denpasar dan Kabupaten Badung juga merupakan dua kawasan mangrove terluas di Pulau Bali dengan luas masing-masing adalah 590.5 Ha dan 662.5. Sedangkan luas hutan mangrove terendah terletak di Kabupaten Klungkung dengan luas 225.5 Ha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam penelitian ini. Khususnya kepada Moh Khafid Kusayibi yang selalu memberikan dukungan dalam setiap langkah dan kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

Arfan, A. (2015). Discrimination of Mangrove Ecosystem Objects on the Visible Spectrum Using Spectroradiometer HR-1024. *Forum Geografi*, 29(1), 83–88.

- <https://doi.org/10.23917/forgeo.v29i1.794>
- Arnanto, A. (2015). Pemanfaatan Transformasi Normalized Difference Vegetation Index(Ndvi) Citra Landsat Tm Untuk Zonasi Vegetasi Di Lereng Merapi Bagian Selatan. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 11(2), 155–170. <https://doi.org/10.21831/gm.v11i2.3448>
- Awaliyan, R., & Sulistyoadi, Y. B. (2018). Klasifikasi Penutupan Lahan Pada Citra Satelit Sentinel-2a Dengan Metode Tree Algorithm. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, 2(2), 98–104. <https://doi.org/10.32522/ujht.v2i2.1363>
- Baskara Andika, I. B. M., Kusmana, C., & Nurjaya, I. W. (2019). Dampak Pembangunan Jalan Tol Bali Mandara Terhadap Ekosistem Mangrove di Teluk Benoa Bali. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 9(3), 641–657. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.3.641-657>
- Besset, M., Gratiot, N., Anthony, E. J., Bouchette, F., Goichot, M., & Marchesiello, P. (2019). Mangroves and shoreline erosion in the Mekong River delta, Viet Nam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 226(1). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106263>
- Friess, D. A., Rogers, K., Lovelock, C. E., Krauss, K. W., Hamilton, S. E., Lee, S. Y., Lucas, R., Primavera, J., Rajkaran, A., & Shi, S. (2019). The State of the World's Mangrove Forests: Past, Present, and Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44, 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033302>
- Gevana, D., Camacho, L., Carandang, A., Camacho, S., & Im, S. (2015). Land use characterization and change detection of a small mangrove area in Banacon Island, Bohol, Philippines using a maximum likelihood classification method. *Forest Science and Technology*, 11(4), 197–205. <https://doi.org/10.1080/21580103.2014.996611>
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), 154–159. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Habdiansyah, P., Lovadi, I., & Linda, R. (2015). *Profil Vegetasi Mangrove Desa Sebusub Kecamatan Paloh Kabupaten Sambas* (Vol. 4, Issue 2).
- Hayati, N. F., Hamzah Muhiddin, A., & Amran, M. A. (2017). *Profile of Mangrove Distribution and Conditions Based on Tide on The Island Of Bangkobangkoang sub-district Liukang Tupabbiring Regency of Pangkep*. 3(1), 47–52.
- Hendrawan, ., Gaol, J. L., & Susilo, S. B. (2018). Studi Kerapatan Dan Perubahan Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Satelit Di Pulau Sebatik Kalimantan Utara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1), 99–109. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i1.18595>
- Irawan, S., & Sirait, J. (2018). Perubahan Kerapatan Vegetasi Menggunakan Citra Landsat 8 Di Kota Batam Berbasis Web. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 10(2), 174. <https://doi.org/10.21107/jk.v10i2.2685>
- Jennerjahn, T. C. (2021). Relevance and magnitude of “Blue Carbon” storage in mangrove sediments: Carbon accumulation rates vs. stocks, sources vs. sinks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248(September 2020), 107156. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107156>
- Kamal, M., Farda, N. M., Jamaluddin, I., Parella, A., Wikantika, K., Prasetyo, L. B., & Irawan, B. (2020). A preliminary study on machine learning and google earth engine for mangrove mapping. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012038>
- Ketut, D. I., Si, S. M., & Biologi, J. (2016). *Pengelolaan Hutan Mangrove Kawasan Taman Hutan Raya (Tahura) Ngurah Rai Propinsi Bali*.

- Liza Goldberg, Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global Change Biology - 2020 - Goldberg - Global declines in human-driven mangrove loss. In *Global Change Biology* (Vol. 26, pp. 5844–5855).
- Marbawa, M. (2014). Analisis Vegetasi Mangrove Untuk Strategi Pengelolaan. *Ecotrophic*, 8(1).
- Maxwell, A. E., Warner, T. A., & Fang, F. (2018). Implementation of machine-learning classification in remote sensing: An applied review. *International Journal of Remote Sensing*, 39(9), 2784–2817. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1433343>
- Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>
- Patel, H. H., & Prajapati, P. (2018). Study and Analysis of Decision Tree Based Classification Algorithms. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(10), 74–78. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i10.7478>
- Penida, K. N., & Klungkung, K. (2017). *STRUKTUR DAN KEANEKARAGAMAN JENIS MANGROVE DI KAWASAN HUTAN MANGROVE NUSA LEMBONGAN, . 11*.
- Rani, S., Zakiyah, N., & Benardi, A. I. (2019). Edu Geography Motif Awan (Model Partisipatif Wisatawan) Sebagai Solusi Konservasi Hutan Evergreen di Taman Nasional Bali Barat. *Edu Geography*, 7(2), 188–197.
- Ridho Fariz, T., Permana, I., Daeni, F., Cahyadi, A., Putra, P., Semarang, U. N., Pertanian, B., Kabupaten, N., & Raya, K. (2021). Pemetaan Ekosistem Mangrove di Kabupaten Kubu Raya Menggunakan Machine Learning pada Google Earth Engine. *Jurnal Geografi*, 18(2), 83–89. <https://doi.org/10.15294/jg.v18i2.30231>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164(5), 152–170.
- Tosiani, A. (2020). *Akurasi Data Penutupan Lahan Nasional Tahun 1990-2016*. 1–41.
- van Oudenhoven, A. P. E., Siahainenia, A. J., Sualia, I., Tonneijck, F. H., van der Ploeg, S., de Groot, R. S., Alkemade, R., & Leemans, R. (2015). Effects of different management regimes on mangrove ecosystem services in Java, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 116, 353–367. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.08.003>
- Virma Aftriana, C., Parman, S., & Budi Sanjoto Jurusan Geografi, T. (2013). Geo Image (Spatial-Ecological-Regional) Info Artikel Sejarah Artikel: Diterima Januari 2013 Disetujui Februari 2013 Dipublikasikan Juni 2013. In *Geo Image* (Vol. 2, Issue 1).
- zu Ermgassen, P. S. E., Mukherjee, N., Worthington, T. A., Acosta, A., Rocha Araujo, A. R. da, Beitzl, C. M., Castellanos-Galindo, G. A., Cunha-Lignon, M., Dahdouh-Guebas, F., Diele, K., Parrett, C. L., Dwyer, P. G., Gair, J. R., Johnson, A. F., Kuguru, B., Savio Lobo, A., Loneragan, N. R., Longley-Wood, K., Mendonça, J. T., Spalding, M. (2021). Fishers who rely on mangroves: Modelling and mapping the global intensity of mangrove-associated fisheries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248(January). <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107159>