DETEKSI DEFORESTASI BERBASIS CITRA SATELIT SENTINEL-2A MSI DI TAMAN NASIONAL BALI BARAT PERIODE 2015-2025

Kadek Yogi Sutrisna Aditya[1], I Wayan Treman[2], Dewa Made Atmaja[3]

[1,2,3]*Universitas Pendidikan Ganesha*
E-mail : yogisutrisnaa26@gmail.com

ABSTRAK

Pemantauan dinamika tutupan lahan dan deforestasi di kawasan pelestarian alam sangat krusial untuk evaluasi keberlanjutan ekologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan dan mendeteksi distribusi deforestasi di Taman Nasional Bali Barat (TNBB) pada periode 2015–2025. Analisis ini memanfaatkan citra satelit multispektral resolusi tinggi Sentinel-2A MSI. Pengolahan data dieksekusi melalui platform komputasi awan *Google Earth Engine* (GEE) dengan mengintegrasikan indeks spektral (NDVI, NDBI, MNDWI) dan data topografi (SRTM) sebagai variabel masukan. Algoritma *machine learning Random Forest* diterapkan untuk klasifikasi tutupan lahan, yang kemudian dilanjutkan dengan analisis deteksi perubahan (*change detection*). Hasil komputasi *Confusion Matrix* menunjukkan tingkat keandalan pemodelan yang sangat kuat, dengan capaian *Overall Accuracy* sebesar 95,02% pada tahun 2015 dan 95,80% pada tahun 2025. Secara makro, neraca ekologis TNBB menunjukkan tren positif berupa suksesi alami masif, ditandai dengan ekspansi kelas Hutan Lebat. Namun, analisis matriks transisi berskala mikro mendeteksi terjadinya deforestasi kotor (*gross loss*) seluas 1.538,5 hektar selama satu dekade terakhir. Kehilangan tutupan hutan ini ditandai dengan terdegradasinya Hutan Lebat dan Hutan Terbuka menjadi kelas Semak, Lahan Terbuka, dan Bangunan. Distribusi spasial deforestasi teridentifikasi memusat secara acak pada zona penyangga dan wilayah pinggiran (*edge effect*). Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa meskipun integritas ekosistem TNBB secara umum mengalami pemulihan, titik-titik deforestasi lokal di perbatasan kawasan mutlak memerlukan penetapan prioritas pengawasan (*hotspot monitoring*) secara berkelanjutan.

Kata Kunci : *Deforestasi, Deteksi Perubahan, Google Earth Engine, Random Forest, Sentinel-2A, Taman Nasional Bali Barat.*

ABSTRACT

Monitoring land cover dynamics and deforestation in nature conservation areas is highly crucial for evaluating ecological sustainability. This study aims to identify land cover changes and detect the distribution of deforestation in West Bali National Park (TNBB) during the 2015–2025 period. This analysis utilizes high-resolution multispectral satellite imagery from Sentinel-2A MSI. Data processing was executed through the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform by integrating spectral indices (NDVI, NDBI, MNDWI) and topographic data (SRTM) as input variables. The Random Forest machine learning algorithm was applied for land cover classification, followed by change detection analysis. The Confusion Matrix computation results demonstrated a highly robust modeling reliability, achieving an Overall Accuracy of 95.02% in 2015 and 95.80% in 2025. Macroscopically, the ecological balance of TNBB showed a positive trend in the form of massive natural succession, indicated by the expansion of the Dense Forest class. However, micro-scale transition matrix analysis detected a gross deforestation of 1,538.5 hectares over the past decade. This loss of forest cover was characterized by the degradation of Dense Forest and Open Forest into Shrub, Bare Land, and Built-up Area classes. The spatial distribution of deforestation was identified to be randomly concentrated in the buffer zones and peripheral areas. The results of this study confirm that although the ecosystem integrity of TNBB is generally recovering, localized deforestation spots at the park's boundaries strictly require the continuous prioritization of hotspot monitoring.

Keywords : *Deforestation, Change Detection, Google Earth Engine, Random Forest, Sentinel-2A, West Bali National Park.*

PENDAHULUAN

Taman Nasional Bali Barat (TNBB) merupakan kawasan pelestarian alam esensial seluas 19.026,97 hektar yang memiliki peran vital dalam menjaga keanekaragaman hayati dan keseimbangan ekosistem di Provinsi Bali.(Gde et al., 2023) Namun, kawasan ini terus menghadapi ancaman degradasi fungsi hutan akibat aktivitas antropogenik seperti pembalakan liar, perambahan lahan, maupun rentan terhadap faktor alamiah. Deforestasi tidak hanya merusak habitat satwa endemik, tetapi juga berdampak buruk bagi lingkungan sosial dan berkontribusi pada peningkatan pemanasan global. Oleh karena itu, pemantauan dinamika tutupan lahan secara berkala menjadi instrumen manajerial yang sangat krusial untuk meminimalisasi kerusakan dan memastikan keberhasilan program konservasi kawasan.

Untuk mengatasi kendala waktu, biaya, dan aksesibilitas wilayah pada metode survei konvensional, teknologi penginderaan jauh yang terintegrasi dengan komputasi awan hadir sebagai alternatif solusi spasial yang komprehensif. Penggunaan citra satelit Sentinel-2A *MultiSpectral Instrument* (MSI) beresolusi spasial 10 meter terbukti sangat ideal untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan secara berkala. Citra satelit Sentinel-2, dengan resolusi spasial tinggi sebesar 10 meter dan frekuensi pengambilan gambar yang sering, sangat cocok untuk pemantauan terperinci terhadap dinamika tutupan lahan(Atmaja, 2025). Analisis data berskala besar tersebut dieksekusi secara efisien melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) yang dikombinasikan dengan algoritma *machine learning Random Forest*. Algoritma ini dipilih karena ketangguhannya dalam mengatasi masalah *overfitting* serta kemampuannya mengolah data multivariat untuk menghasilkan tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi dan tidak bias.

Meskipun pemanfaatan *Random Forest* berbasis GEE telah banyak diaplikasikan dalam pemetaan penggunaan lahan, studi yang secara spesifik mengkuantifikasi dan memetakan distribusi spasial deforestasi di dalam kawasan TNBB selama satu dekade terakhir masih sangat terbatas. Untuk mengisi celah penelitian (*research gap*) tersebut, riset ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik perubahan tutupan lahan serta memetakan laju deforestasi secara presisi pada periode 2015 hingga 2025. Informasi geospasial yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi basis data spasial yang esensial bagi pemerintah dan pengelola taman nasional dalam merumuskan kebijakan perlindungan ekosistem yang tepat sasaran dan berkelanjutan.

METODE

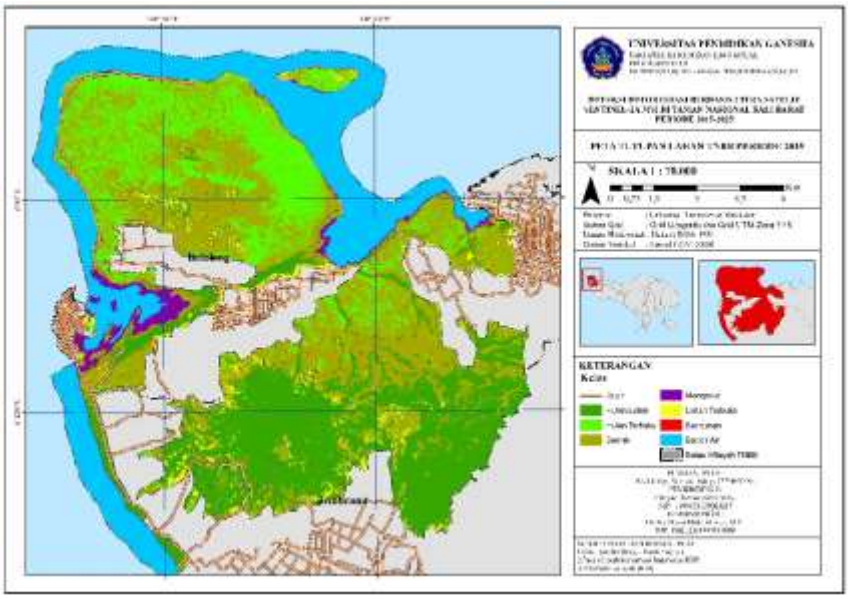
Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Taman Nasional Bali Barat (TNBB) menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial.(Yanti et al., 2022) Data utama yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-2A MSI Level-2A (*Surface Reflectance*) perekaman musim kemarau tahun 2015 dan 2025.(Drusch et al., 2012) Seluruh proses ekstraksi dan pra-pemrosesan data, seperti pemfilteran awan (*cloud masking*) dan penyusunan komposit median, dieksekusi melalui platform komputasi awan *Google Earth Engine* (GEE).(Gorelick & Zheng, 2015)

Untuk mengoptimalkan pemisahan kelas tutupan lahan, variabel prediktor dalam penelitian ini tidak hanya menggunakan band spektral asli, melainkan diintegrasikan dengan transformasi indeks spektral (NDVI, NDBI, MNDWI) serta data topografi dari SRTM DEM. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan algoritma *machine learning Random Forest* ke dalam tujuh kelas tutupan

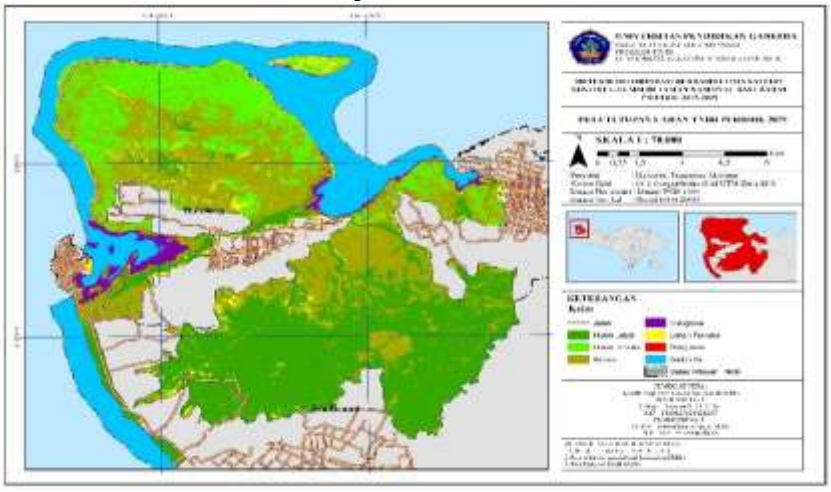
lahan: Hutan Lebat, Hutan Terbuka, Semak, Mangrove, Lahan Terbuka, Bangunan, dan Badan Air.(Belgiu & Drăguţ, 2016) Uji validasi pemodelan diukur menggunakan matriks kebingungan (*Confusion Matrix*) melalui metrik *Overall Accuracy* dan *Kappa Coefficient*.(Hastie et al., 2009) Tahap akhir melibatkan analisis spasial deteksi perubahan (*change detection*) menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk mengekstraksi matriks transisi dan laju deforestasi kotor (*gross loss*).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Akurasi Model Klasifikasi



Gambar 1. Peta Tutupan Lahan TNBB Tahun 2015



Gambar 2. Peta Tutupan Lahan TNBB Tahun 2025

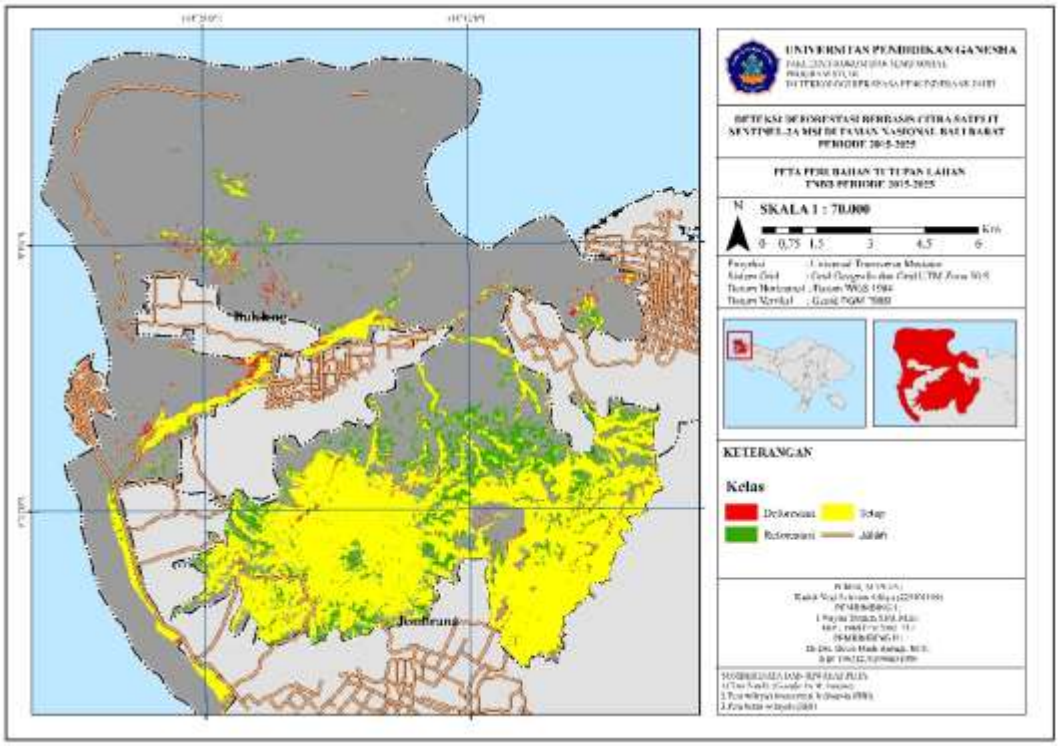
Hasil uji akurasi (*ground truth*) menunjukkan bahwa algoritma *Random Forest* berbasis GEE memiliki keandalan yang sangat tinggi dalam memisahkan nilai spektral ekosistem TNBB. Model menghasilkan nilai *Overall Accuracy* sebesar 95,02% untuk peta tutupan lahan tahun 2015 dan meningkat menjadi 95,80% pada tahun 2025. Angka ini jauh melampaui ambang batas standar kelayakan pemetaan tematik regional (85%), sehingga data luasan yang dihasilkan sangat valid untuk analisis dinamika ekologis ditunjukan pada Tabel 1.1 dibawah.

Tabel 1. Rekapitulasi Tingkat Akurasi Model Klasifikasi

Periode Klasifikasi	Overall Accuracy (OA)	Kappa Coefficient	Kategori Akurasi
Tahun 2015	95,02%	0,94	Sangat Baik
Tahun 2025	95,80%	0,94	Sangat Baik

Dinamika Perubahan Tutupan Lahan dan Deforestasi

Secara makro, neraca ekologis tutupan lahan di TNBB selama periode 2015–2025 menunjukkan tren surplus yang didominasi oleh suksesi alami. Kelas Hutan Lebat mengalami ekspansi signifikan dari 26,19% (4.727 ha) pada tahun 2015 menjadi 32,14% (5.804 ha) pada tahun 2025. Perluasan ini merupakan hasil regenerasi dan penebalan tajuk dari area yang sebelumnya didominasi oleh Semak dan Hutan Terbuka. Kondisi ekosistem pesisir (Mangrove dan Badan Air) juga menunjukkan tingkat resiliensi yang stabil tanpa adanya penyusutan luasan yang berarti ditunjukkan pada Gambar 1.3 dan Tabel 1.2 di bawah.

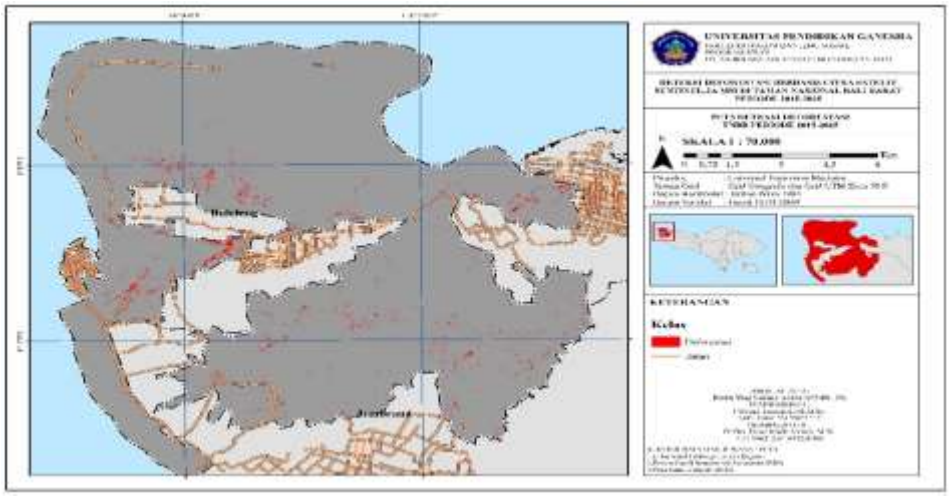


Gambar 3. Peta Perubahan Tutupan Lahan TNBB Periode 2015-2025

Tabel 2. Tabel Matriks Transisi/Perubahan Hektar

Tutupan Lahan (2015)	Hutan Lebat (2025)	Hutan Terbuka (2025)	Semak (2025)	Mangrove (2025)	Lahan Terbuka (2025)	Bangunan (2025)	Badan Air (2025)	Total Luas 2015
Hutan Lebat	4.505,62	0,10	201,76	4,27	26,30	0,07	0,07	4.738,19
Hutan Terbuka	2,50	1.490,71	1.202,25	0,05	106,71	1,41	0,00	2.803,62
Semak	1.095,23	862,81	3.581,87	57,48	179,45	5,24	0,75	5.782,84
Mangrove	24,00	1,55	25,75	368,64	2,30	2,23	15,85	440,32
Lahan Terbuka	188,31	32,61	119,94	2,22	169,66	5,66	0,34	518,74
Bangunan	0,28	2,41	1,22	5,46	3,38	9,70	8,37	30,83
Badan Air	0,72	0,38	0,09	7,75	9,70	2,55	3.735,92	3.757,11
Total Luas 2025	5.816,66	2.390,57	5.132,88	445,86	497,50	26,86	3.761,31	18.071,65

Meskipun secara total luasan hutan bertambah, ekstraksi matriks transisi berskala mikro tetap mendeteksi adanya fenomena deforestasi kotor (*gross loss*). Total luasan hutan yang terdegradasi selama satu dekade mencapai 1.538,5 hektar (rata-rata laju deforestasi 153,85 hektar per tahun).



Gambar 4. Peta Deteksi Deforestasi TNBB Periode 2015-2025

Kehilangan tutupan hutan ini diidentifikasi dari transisi kelas Hutan Lebat dan Hutan Terbuka yang berubah menjadi Semak, Lahan Terbuka, dan sebagian kecil Bangunan. Analisis spasial menunjukkan bahwa distribusi titik deforestasi tidak terjadi di zona inti pelestarian,

melainkan memusat secara acak di wilayah pinggiran kawasan (*edge effect*) dan zona penyangga yang bersinggungan langsung dengan aktivitas antropogenik seperti pemukiman maupun alih fungsi lahan.(ENDRA SUPARDI et al., 2021)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis geospasial pada periode 2015 hingga 2025, dapat disimpulkan bahwa neraca ekosistem Taman Nasional Bali Barat secara umum mengalami surplus akibat masifnya proses suksesi alami yang ditandai dengan peningkatan luas Hutan Lebat. Namun demikian, deforestasi kotor (*gross loss*) tetap terdeteksi pada skala lokal seluas 1.538,5 hektar akibat degradasi Hutan Lebat dan Hutan Terbuka menjadi kelas vegetasi rendah dan lahan terbuka. Perubahan ini terdistribusi secara spesifik di area perbatasan kawasan yang rentan terhadap tekanan aktivitas manusia. Secara metodologis, integrasi indeks spektral dan algoritma *Random Forest* pada platform *Google Earth Engine* terbukti sangat akurat dan efisien untuk pemantauan dinamika hutan secara berkala. Temuan ini merekomendasikan perlunya peningkatan prioritas pengawasan (*hotspot monitoring*) yang difokuskan pada zona penyangga di sekitar perbatasan taman nasional.

DAFTAR PUSTAKA

Atmaja, D. M. (2025). *Analisis Perubahan Tutupan Lahan Di Kawasan Wisata Pantai Diamond Dan Pantai Atuh Menggunakan Citra Sentinel-2*. 3906–3919.

Belgiu, M., & Drăguţ, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *114*, 24–31.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., & Martimort, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, *120*, 25–36.

ENDRA SUPARDI, I. M. A., Dewi, A. A. S. L., & Suryani, L. P. (2021). Peran Polisi Hutan dalam Menanggulangi Pembalakan Liar/Illegal Logging dalam Kawasan Hutan di Kabupaten Jembrana Provinsi Bali. *Jurnal Konstruksi Hukum*, *2*(1), 81–85. https://doi.org/10.22225/jkh.2.1.2973.81-85

Gde, D., Arini, D., Ayu, P., Wesna, S., Gusti, N., & Sri, K. (2023). *Kontrak Konservasi Sebagai Dasar Kesepakatan Desa Penyangga Wisata Alam Taman Nasional Bali Barat*. *17*, 23–33.

Gorelick, S. M., & Zheng, C. (2015). Global change and the groundwater management challenge. *Water Resources Research*, *51*(5), 3031–3051.

Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. H., & Friedman, J. H. (2009). *The elements of statistical learning: data mining, inference, and prediction* (Vol. 2). Springer.

Yanti, N. P. E. D., Sugiartha, I. N. G., & Suryani, L. P. (2022). Peran Masyarakat dalam Upaya Pelestarian Hutan Taman Nasional Bali Barat di Desa Eka Sari. *Jurnal Interpretasi …*, *3*(2), 287–291. https://doi.org/10.22225/juinhum.3.2.5066.287-291