



Identifikasi Pola Perubahan Tutupan Lahan (*Land Cover*) Akibat Penggunaan Lahan (*Land Use*) Menggunakan Algoritma *Random Forest* Di Kabupaten Bangka Tengah

Ari Ardiansyah

Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Yudistira Bagus Pratama

Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Zikri Wahyuzi

Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Arvi Pramudyantoro

Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Andesta Granitio Irwan

Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Alamat: Pangkalpinang

Korespondensi penulis: theariardians@email.com

Abstract. *Central Bangka Regency has been facing growing environmental pressures resulting from the expansion of oil palm plantations, mining operations, and accelerated urban development. These activities have caused considerable changes in land cover, posing a threat to the sustainability of local ecosystems. This study aims to examine land cover dynamics between 2019 and 2022 and to forecast future conditions for 2030 as a basis for sustainable spatial planning. Sentinel-2A satellite imagery was processed using the Google Earth Engine (GEE) platform, employing the Random Forest (RF) algorithm to classify land cover into five categories: forest, water, built-up, oil palm plantations, and barren. Model validation through the Overall Accuracy metric demonstrated strong classification performance, reaching 0.90297 in 2019 and 0.90849 in 2022. The analysis showed a 21.63% reduction in forest area, alongside significant increases in oil palm and built-up land. The projection for 2030 suggests that forest cover may decline to just 3.35% of the total area, with oil palm plantations and built-up land becoming dominant. These results emphasize the necessity of implementing sustainable land-use management strategies to maintain a balance between economic growth and environmental conservation in Central Bangka Regency.*

Keywords: *LULC, Random Forest, Google Earth Engine, Sentinel-2A, Central Bangka, prediction*

Abstrak. Kabupaten Bangka Tengah menghadapi tekanan lingkungan yang semakin meningkat akibat perluasan perkebunan kelapa sawit, aktivitas pertambangan, serta pembangunan yang pesat. Kondisi tersebut menyebabkan perubahan tutupan lahan yang signifikan dan berpotensi mengancam keberlanjutan ekosistem wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dinamika perubahan tutupan lahan pada periode 2019–2022 serta memproyeksikan kondisi tutupan lahan tahun 2030 sebagai dasar perencanaan tata ruang yang berkelanjutan. Citra satelit Sentinel-2A diolah menggunakan platform GEE dengan menerapkan algoritma *Random Forest* (RF) untuk mengklasifikasikan tutupan lahan menjadi lima kelas utama, yaitu hutan, badan air, lahan terbangun, perkebunan kelapa sawit, dan lahan terbuka. Validasi model menggunakan metrik *Overall Accuracy* (OA) menunjukkan kinerja yang tinggi, dengan nilai 0,90297 pada tahun 2019 dan 0,90849 pada tahun 2022. Hasil analisis menunjukkan bahwa luas hutan mengalami penurunan sebesar 21,63%, sementara perkebunan kelapa sawit dan lahan terbangun mengalami peningkatan yang signifikan. Proyeksi untuk tahun 2030 memperkirakan bahwa tutupan hutan akan menurun hingga hanya 3,35% dari total luas wilayah, dengan dominasi tutupan lahan berupa perkebunan kelapa sawit dan lahan terbangun. Temuan ini menegaskan perlunya kebijakan pengelolaan penggunaan lahan yang berkelanjutan guna menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan pelestarian lingkungan di Kabupaten Bangka Tengah.

Kata kunci: *LULC, Random Forest, Google Earth Engine, Sentinel-2A, Bangka Tengah, prediksi*

LATAR BELAKANG

Sumber daya lahan merupakan aset vital bagi pembangunan ekonomi, sosial, dan kesejahteraan masyarakat. Pemanfaatan lahan secara berkelanjutan menjadi kunci menjaga keseimbangan ekosistem sekaligus mencegah degradasi lingkungan. Namun, degradasi lahan, deforestasi, dan eksploitasi berlebihan masih menjadi ancaman serius terhadap keanekaragaman hayati dan fungsi ekologis lanskap. Provinsi Kepulauan Bangka Belitung termasuk salah satu wilayah di Indonesia yang mengalami perubahan tutupan lahan secara signifikan, yang disebabkan oleh faktor sosial-ekonomi dan kegiatan industri seperti ekspansi perkebunan kelapa sawit dan penambangan timah.

Kabupaten Bangka Tengah, sebagai salah satu wilayah administratif di provinsi ini, menunjukkan dinamika perubahan tutupan lahan yang pesat. Peningkatan luas perkebunan kelapa sawit dan aktivitas tambang timah, baik legal maupun ilegal, telah menyebabkan konversi lahan hutan dan lahan terbuka secara masif, serta menimbulkan degradasi lingkungan. Pertumbuhan penduduk, pembangunan permukiman, dan infrastruktur semakin memberikan tekanan terhadap lahan yang tersedia.

Tujuan studi ini adalah untuk mengidentifikasi perubahan tutupan lahan pada periode antara tahun 2019 dan 2022 serta memproyeksikannya hingga tahun 2030. Tahun 2030 dipilih sebagai target prediksi karena bertepatan dengan batas waktu pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) dan memungkinkan analisis tren jangka panjang. Selain itu, data penginderaan jauh untuk tahun berjalan, seperti 2025, belum tersedia secara lengkap dan konsisten sehingga kurang layak digunakan sebagai dasar prediksi.

Pelaksanaan studi ini melibatkan penggunaan citra satelit Sentinel-2, yang diproses melalui kerangka kerja GEE dan diklasifikasikan menggunakan algoritma RF. Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam mengelola kompleksitas data spasial, meminimalkan *overfitting*, dan menghasilkan akurasi klasifikasi tinggi. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan dalam perencanaan pembangunan berkelanjutan, pengelolaan lingkungan, serta pengambilan keputusan berbasis data, sekaligus mendukung pencapaian SDGs, khususnya tujuan SDGs, khususnya tujuan ke-13 (Addressing Climate Change), ke-15 (Land Ecosystems), ke-11 (Sustainable Cities and Settlements), dan ke-2 (No Hunger).

KAJIAN TEORITIS

Tutupan dan Penggunaan Lahan (*Land Use Land Cover*)

Tutupan lahan merujuk pada kondisi fisik permukaan bumi, termasuk unsur-unsur seperti vegetasi, badan air, permukiman, dan lahan terbuka. Penggunaan lahan, di sisi lain, menggambarkan aktivitas manusia dalam memanfaatkan lahan (Anderson et al., 1976). Analisis perubahan LULC penting untuk memantau dinamika lingkungan dan mendukung kebijakan pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Perubahan LULC sering kali disebabkan oleh tekanan antropogenik seperti urbanisasi, ekspansi perkebunan, dan deforestasi. Dalam konteks Kabupaten Bangka Tengah, perubahan ini erat kaitannya dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi yang mendorong alih fungsi lahan pertanian menjadi kawasan perkotaan.

Remote Sensing dan Citra Sentinel-2A

Remote Sensing merupakan teknologi yang digunakan untuk memperoleh informasi mengenai permukaan bumi tanpa adanya kontak fisik langsung dengan objek yang diamati. Citra satelit Sentinel-2A, dengan resolusi spasial 10–20 meter dan resolusi temporal dengan band B2 (*Blue*), B3 (*Green*), B4 (*Red*), dan B8 (NIR), menyediakan informasi multispektral yang mendetail untuk analisis LULC dan efektif dalam membedakan jenis vegetasi, air, dan permukiman (Lillesand et al., 2015). Penelitian oleh Rachmawati et al. (2022) menunjukkan bahwa kombinasi kanal inframerah dekat dan SWIR pada Sentinel-2A dapat meningkatkan akurasi klasifikasi LULC hingga lebih dari 90%. Hal ini memperkuat alasan pemilihan Sentinel-2A sebagai sumber data utama dalam penelitian ini.

Google Earth Engine (GEE)

Google Earth Engine (GEE) merupakan platform komputasi awan yang dirancang untuk memproses data spasial dalam skala besar secara cepat dan efisien (Gorelick et al., 2017). Melalui GEE, pengguna dapat mengakses beragam kumpulan data citra satelit global seperti Sentinel dan Landsat, serta melakukan analisis spasial menggunakan bahasa pemrograman JavaScript maupun Python. Keunggulan utama GEE adalah kemampuannya dalam preprocessing otomatis (masking awan, mosaik, dan pemotongan wilayah studi) serta integrasi dengan algoritma *machine learning* seperti *Random Forest*. Dengan demikian, GEE sangat sesuai untuk penelitian ini karena dapat memproses data multitemporal dan menghasilkan klasifikasi spasial secara cepat tanpa memerlukan perangkat keras berperforma tinggi.

Random Forest (RF)

Algoritma *Random Forest* (Breiman, 2001) merupakan teknik *ensemble learning* yang memanfaatkan kumpulan pohon keputusan yang dibangun secara acak untuk meningkatkan akurasi prediksi. Pendekatan ini dikenal unggul dalam meminimalkan risiko *overfitting* dan mampu menangani data dengan kompleksitas serta dimensi yang tinggi, termasuk data citra satelit. Dalam konteks LULC, RF menggunakan kombinasi nilai reflektansi spektral dari kanal citra untuk menentukan kelas penutup lahan. Penelitian oleh Novianti et al. (2023) menunjukkan bahwa RF memberikan akurasi klasifikasi hingga 95% pada data penginderaan jauh multikanal, lebih tinggi dibandingkan KNN dan SVM. Oleh karena itu, RF dipilih dalam penelitian ini karena performanya yang tinggi dan kestabilannya dalam menganalisis data heterogen.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis spasial-temporal yang berbasis pada penginderaan jauh dan algoritma *machine learning*. Tujuan utamanya adalah mengklasifikasikan serta memprediksi perubahan tutupan lahan (*Land Use Land Cover*) di Kabupaten Bangka Tengah menggunakan algoritma *RF* yang diimplementasikan pada platform GEE. Pendekatan ini dipilih karena mampu melakukan analisis multitemporal dan multivariat secara efisien terhadap data citra satelit beresolusi menengah.

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, yang memiliki dinamika perubahan penggunaan dan penutupan lahan cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Wilayah studi dibatasi secara spasial pada koordinat 106.48° BT hingga 106.65° BT dan 2.64° LS hingga 2.52° LS.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan citra satelit Sentinel-2A yang diakses melalui platform GEE sebagai sumber data utama. Citra tersebut memiliki resolusi spasial 10–20 meter dengan resolusi temporal yang mendukung pemantauan perubahan dari waktu ke waktu. Saluran spektral yang digunakan meliputi B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), dan B8 (Near-Infrared). Selain itu, digunakan data pendukung berupa batas administrasi dari FAO GAUL dan data lapangan untuk validasi sampel pelatihan.

Data diolah melalui beberapa tahapan, yaitu pemotongan area studi, penyaringan awan, pembuatan komposit median tahunan, identifikasi kelas tutupan lahan, dan ekstraksi sampel pelatihan serta pengujian.

Pengumpulan data dilakukan melalui platform *GEE* yang berfungsi sebagai instrumen utama dalam mengunduh, memproses, dan menganalisis citra satelit. Proses pengumpulan data lapangan dilakukan dengan teknik visual interpretation pada titik acuan (*ground truth points*) untuk keperluan validasi hasil klasifikasi.

Evaluasi terhadap model klasifikasi dilakukan untuk mengukur sejauh mana ketelitian hasil pemetaan tutupan lahan yang dihasilkan oleh model. Penilaian akurasi dilakukan menggunakan *confusion matrix* dan *Overall Accuracy* (OA) yang dihasilkan melalui proses validasi internal pada platform GEE. Data berlabel dibagi menjadi 2 bagian, yaitu data *training* dan data *testing*. Model dilatih menggunakan data *training*, kemudian diuji dengan data *testing* untuk menghasilkan nilai matriks akurasi. *Confusion matrix* dimanfaatkan untuk menggambarkan distribusi jumlah piksel yang teridentifikasi secara tepat maupun keliru pada setiap kategori tutupan lahan. Sementara itu, nilai OA dihitung guna menunjukkan proporsi total piksel yang berhasil diklasifikasikan secara benar oleh model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Juni hingga Agustus 2025 dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-2A Level-2A (*surface reflectance*) sebagai sumber data utama, yang diperoleh melalui platform GEE. Fokus pengambilan data diarahkan pada dua tahun pengamatan, yaitu 2019 dan 2022, untuk mendukung analisis perubahan tutupan lahan secara spasial-temporal, serta dilakukan proyeksi hingga 2030 berdasarkan tren perubahan historis.

Klasifikasi Tutupan Lahan Tahun 2019 dan 2022

Hasil proses klasifikasi mengungkapkan keberadaan lima kategori utama tutupan lahan, yaitu badan air, kawasan hutan, area perkebunan kelapa sawit, permukiman atau lahan terbangun, serta lahan terbuka.

Pada tahun 2019, tutupan lahan di Kabupaten Bangka Tengah didominasi oleh hutan dengan luas 142.048,67 ha (61,74%), diikuti oleh badan air sebesar 69.724,28 ha (31,68%). Sementara itu, perkebunan sawit hanya menempati 5.152,79 ha (2,27%), lahan terbangun sebesar 5.948,75 ha (2,62%), dan lahan terbuka seluas 3.828,45 ha (1,69%).

Tabel 1. Luas Tutupan Lahan Kabupaten Bangka Tengah Tahun 2019

Kelas Tutupan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
Hutan	142.048,67	61,74
Air	69.724,28	31,68
Perkebunan Sawit	5.152,79	2,27
Lahan Terbangun	5.948,75	2,62
Lahan Terbuka	3.828,45	1,69
Total	226.702,94	100

Sumber: Hasil olahan citra Sentinel-2A, 2024.



Gambar 2. Peta Klasifikasi 2019

Keterangan:

- | | | |
|---|---|----------|
|  | 0 | Water |
|  | 1 | Buildup |
|  | 2 | Forest |
|  | 3 | Barren |
|  | 4 | Palm Oil |

Sebaran spasial menunjukkan bahwa hutan mendominasi wilayah tengah dan barat, sedangkan perkebunan sawit tersebar di bagian selatan dan barat laut. Badan air terkonsentrasi di pesisir barat dan timur.

Pada tahun 2022, terjadi perubahan signifikan di mana hutan menurun menjadi 111.325,47 ha (49,11%), sedangkan perkebunan sawit meningkat menjadi 8.927,64 ha (3,94%). Lahan terbangun naik menjadi 7.760,76 ha (3,42%) dan lahan terbuka menjadi 6.846,57 ha (3,02%), sementara badan air bertambah menjadi 91.842,50 ha (40,51%).

Tabel 1. Luas Tutupan Lahan Kabupaten Bangka Tengah Tahun 2019

Kelas Tutupan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
Hutan	111.325,47	49,11
Air	91.842,50	40,51
Perkebunan Sawit	8.927,64	3,94
Lahan Terbangun	7.760,76	3,42
Lahan Terbuka	6.846,57	3,02
Total	226.702,94	100

Sumber: Hasil olahan citra Sentinel-2A, 2024.



Gambar 3 Peta Klasifikasi 2022

Keterangan:

	0 Water
	1 Buildup
	2 Forest
	3 Barren
	4 Palm Oil

Uji Akurasi

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model klasifikasi mencapai Tingkat ketepatan yang sangat baik, dengan nilai OA sebesar 0,90297 pada tahun 2019 dan 0,90849 pada tahun 2022. Kedua nilai tersebut melebihi ambang batas kelayakan minimum ($OA > 0,80$) sebagaimana direkomendasikan oleh Congalton dan Green (2019) sehingga peta hasil klasifikasi dinilai valid dan dapat digunakan untuk analisis pasial maupun temporal selanjutnya.

Tabel 3. Confusion Matrix

Confusion matrix 2019 JSON	Confusion matrix 2022 JSON
0: [4414,0,8,2,12]	0: [4424,0,1,5,6]
1: [1,971,44,0,171]	1: [6,1012,22,6,141]
2: [0,0,14415,1,528]	2: [0,1,14383,26,534]
3: [9,0,143,14,155]	3: [11,0,144,18,148]
4: [1,93,1607,5,6059]	4: [0,10,1522,48,6185]
Overall Accuracy: 0.9029770006631068	Overall Accuracy: 0.9084912574599519

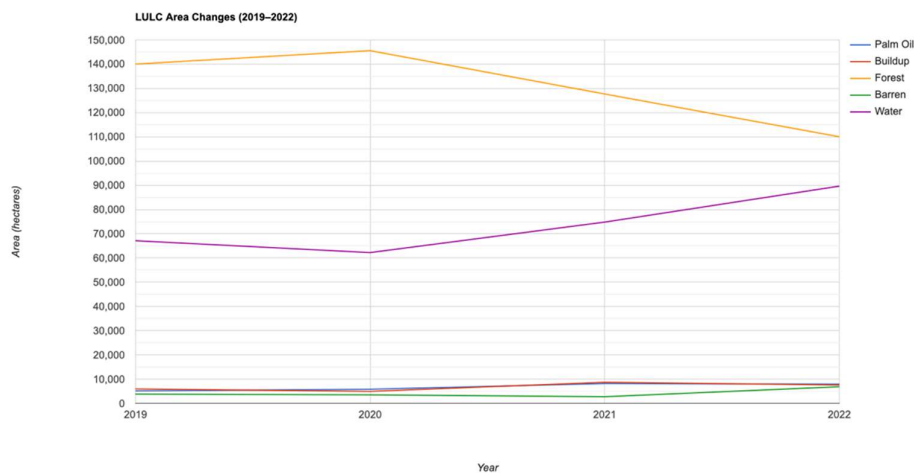
Analisis Perubahan Tutupan Lahan 2019–2022

Perbandingan data tahun 2019 dan 2022 menunjukkan terjadinya penurunan luas hutan sebesar 21,63% dalam tiga tahun, sedangkan perkebunan sawit meningkat 73,26%. Kelas lahan terbuka naik 78,83%, dan lahan terbangun naik 30,46%, yang mengindikasikan meningkatnya aktivitas pembangunan dan pembukaan lahan baru.

Tabel 4. Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2019–2022

Kelas	2019 (ha)	2022 (ha)	Perubahan (%)
Hutan	142.048,67	111.325,47	−21,63
Perkebunan Sawit	5.152,79	8.927,64	+73,26
Lahan Terbangun	5.948,75	7.760,76	+30,46
Lahan Terbuka	3.828,45	6.846,57	+78,83
Air	69.724,28	91.842,50	+31,72

Sumber: Hasil olahan citra Sentinel-2A, 2024.



Penurunan hutan yang tajam menunjukkan adanya konversi besar-besaran ke perkebunan sawit dan lahan terbuka. Hasil ini selaras dengan temuan Santosa et al. (2021)

dan Gunarso et al. (2013) yang menjelaskan bahwa ekspansi sawit merupakan penyebab utama deforestasi di Indonesia. Sementara itu, peningkatan badan air kemungkinan dipengaruhi oleh genangan bekas tambang timah, sebagaimana ditemukan oleh Winata et al. (2022) di Bangka Tengah.

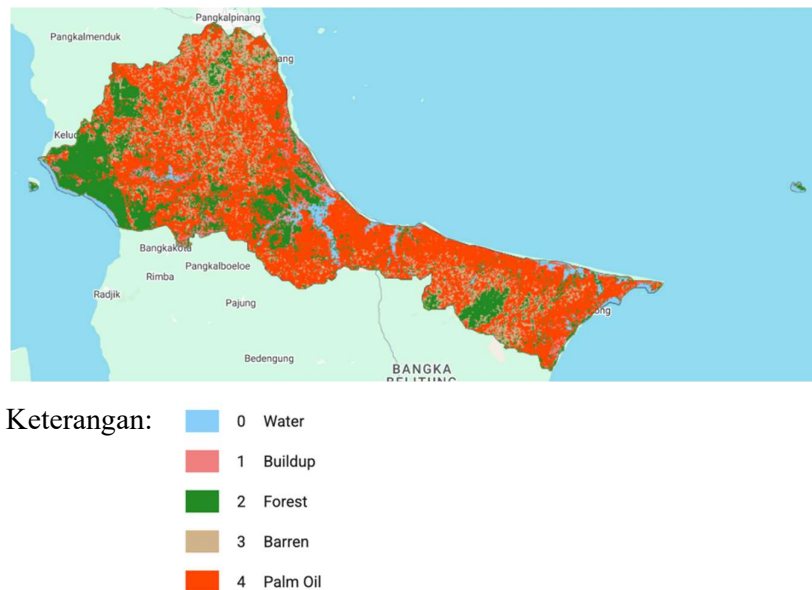
Proyeksi Tutupan Lahan Tahun 2030

Berdasarkan model *RF* dengan pendekatan *business-as-usual (BAU)*, hasil proyeksi menunjukkan bahwa jika pola perubahan historis berlanjut, maka pada tahun 2030 akan terjadi penurunan drastis hutan dan peningkatan signifikan lahan sawit dan kawasan terbangun.

Tabel 5. Proyeksi Tutupan Lahan Tahun 2030

Kelas	Luas (ha)	Persentase (%)	Perubahan 2022–2030 (ha)
Hutan	7.599,99	3,35	−103.725,48
Perkebunan Sawit	57.710,22	25,46	+48.782,58
Lahan Terbangun	92.248,47	40,69	+84.487,71
Lahan Terbuka	2.139,12	0,94	−4.707,45
Air	67.005,14	29,56	−24.837,36

Sumber: Hasil proyeksi model Random Forest, 2024.



Penurunan luas hutan sebesar lebih dari 90% menunjukkan tekanan lahan yang sangat tinggi. Peningkatan lahan sawit dan terbangun mengindikasikan proses urbanisasi dan ekspansi ekonomi yang tidak diimbangi oleh kebijakan konservasi. Hasil ini selaras dengan temuan Austin et al. (2022) dan Gaveau et al. (2022) yang menunjukkan bahwa ekspansi sawit dan pembangunan di Indonesia menyebabkan kehilangan hutan primer secara masif.

Interpretasi dan Implikasi Penelitian

Penelitian ini mengungkap bahwa Kabupaten Bangka Tengah mengalami dinamika perubahan tutupan lahan yang signifikan selama periode 2019–2022. Perubahan tersebut ditandai oleh berkurangnya area hutan serta bertambahnya luas perkebunan kelapa sawit dan kawasan terbangun. Penerapan algoritma RF pada platform GEE terbukti efektif dalam melakukan proses klasifikasi dan memprediksi perubahan tutupan lahan, ditunjukkan oleh tingkat akurasi yang melampaui 90%.

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa apabila tren perubahan berlanjut tanpa intervensi, luas hutan akan terus menyusut hingga menjadi sangat minimal pada tahun 2030, sementara perkebunan sawit dan lahan terbangun menjadi kelas dominan. Kondisi ini menegaskan bahwa aktivitas ekonomi dan pembangunan memberikan tekanan besar terhadap lingkungan, sehingga diperlukan kebijakan pengelolaan ruang berbasis keberlanjutan untuk menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan pelestarian ekosistem di Kabupaten Bangka Tengah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan memetakan perubahan dinamika tutupan lahan (LULC) di Kabupaten Bangka Tengah untuk periode 2019 dan 2022, serta melakukan proyeksi hingga tahun 2030 dengan memanfaatkan algoritma *RF* pada platform GEE. Hasil klasifikasi menunjukkan akurasi yang tinggi, dengan nilai OA mencapai 0,90 pada kedua tahun pengamatan, yang menegaskan keandalan model dalam mengenali pola spasial perubahan lahan. Analisis menunjukkan bahwa dalam kurun waktu 2019–2022, terjadi deforestasi signifikan dengan penurunan luas hutan sebesar 21,63%, yang sebagian besar dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit, lahan terbuka, dan kawasan terbangun. Pola ini sejalan dengan tekanan ekonomi akibat ekspansi perkebunan dan pertumbuhan pembangunan wilayah. Proyeksi tahun 2030 dengan skenario *business-as-usual* memperkirakan penurunan drastis tutupan hutan hingga hanya tersisa 3,35% dari total area, sementara perkebunan sawit dan kawasan terbangun meningkat masing-masing menjadi 25,46% dan 40,69%. Temuan ini mengindikasikan risiko ekologis yang serius jika tidak diimbangi dengan kebijakan pengelolaan ruang yang berkelanjutan.

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar penting bagi pemerintah daerah dan pemangku kebijakan dalam menyusun rencana tata ruang wilayah dan strategi mitigasi deforestasi. Disarankan agar penelitian lanjutan mengintegrasikan faktor sosial-ekonomi, kepadatan penduduk, serta data tata ruang untuk memperkaya analisis spasial. Pengembangan model prediksi berbasis *hybrid approach* yang menggabungkan *RF* dengan metode *deep learning* (misalnya CNN atau LSTM) juga direkomendasikan guna meningkatkan akurasi proyeksi spasial-temporal. Selain itu, kegiatan verifikasi lapangan (*ground truthing*) dan partisipasi masyarakat perlu diperkuat untuk memastikan pengelolaan tutupan lahan yang lebih adaptif, kolaboratif, dan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Adhiatma, R., Widiatmaka, & Lubis, I. (2020). Perubahan penggunaan/tutupan lahan dan prediksi perubahan penggunaan/tutupan lahan di Kabupaten Lampung Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2), 234–246. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.234-246>
- Afasel, D., Purnamasari, R., & Edwar. (2022). Klasifikasi tutupan lahan menggunakan supervised machine learning pada citra satelit menggunakan Google Earth Engine. *E-Proceeding of Engineering*, 8(6), 3281.
- Aldiansyah, S., & Saputra, R. A. (2022). Comparison of machine learning algorithms for land use and land cover analysis using Google Earth Engine (Case study: Wanggu Watershed). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 19(2). Retrieved from <https://jurnal.lapan.go.id/index.php/ijreses/article/view/3803>
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>
- Beria, H., Sahoo, B., & Sahoo, S. (2021). Comparison of machine learning algorithms for land use land cover classification in a hilly terrain using Sentinel-2A imagery. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24, 100631.
- Fitriana, F., Altirika, E., Apriyani, R., & Saadah, N. (2024). Identification of Tin Mining Land Cover Change in Central Bangka Regency Using Machine Learning dan Google Earth Engine (GEE). *Journal of Global Sustainable Agriculture*, 5(1), 78–83. <https://doi.org/10.32502/jgsa.v5i1.333>
- Foody, G. M. (2022). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(01)00295-4)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Macarringue, L. S., Bolfe, É. L., & Pereira, P. R. M. (2022). Developments in land use and land cover classification techniques in remote sensing: A review. *Journal of Geographic Information System*, 14(1), 1–28. <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.141001>
- Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Land use and land cover mapping using Sentinel-2, Landsat 8 satellite images, and Google Earth Engine: A comparison of two composition methods. *Remote Sensing*, 14(9), 1977. <https://doi.org/10.3390/rs14091977>
- Phan, T. H., Nguyen, D. T., Le, M. T., & Tran, P. H. (2024). Modeling of land use and land cover changes using Google Earth Engine and machine learning approach: Implications for landscape management. *Environmental Systems Research*.

- Pratama, D., Ningsih, A. A., & Hidayat, F. (2020). Dampak aktivitas pertambangan timah terhadap perubahan penggunaan lahan di Pulau Bangka. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(1), 72–83. <https://doi.org/10.14710/jil.18.1.72-83>
- Putra, A. N., Jaenudin, Prasetya, N. R., Sugiarto, M. T., Sudarto, Prayogo, C., & Admajaya, F. T. (2025). Utilizing remote sensing and random forests to identify optimal land use scenarios and address the increase in landslide susceptibility. *Sustainability*, 17(9), 4227. <https://doi.org/10.3390/su17094227>
- Rahmawati, A. D. R., Asy' Ari, A., & Ranti, R. (2023). Google Earth Engine & Sentinel-2 MSI: Integrasi data spatio-temporal untuk memetakan LUCC menggunakan algoritma Random Forest. *Jurnal Ilmiah Penalaran dan Penelitian Mahasiswa*. Retrieved from <https://jurnal.ukmpenelitianuny.id/index.php/jippm/article/view/241>
- Rudiastuti, A. W., Lumban-Gaol, Y., Silalahi, F. E. S., Prihanto, Y., & Pranowo, W. S. (2022). Implementing random forest in GEE: Transferability on built-up area in Central Java, Indonesia. *International Journal on Informatics Visualization*, 6(1), 74–82. <https://doi.org/10.30630/joiv.6.1.873>
- Setiawan, F. (2021). Analisis perubahan tutupan/penggunaan lahan Kabupaten Bangka Selatan tahun 2015–2020. *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, 209–213. Retrieved from <https://journal.ubb.ac.id/index.php/snppm/article/view/2752>
- Winata, A., Sari, R., & Pratama, Y. (2025). Exploring land cover dynamics: Open mining activities footprint in Central Bangka District, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management (JDMLM)*, 12(3), 171–183. <https://jdmlm.ub.ac.id/index.php/jdmlm/article/view/17112>