

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kabupaten Klungkung di Provinsi Bali menghadapi tekanan spasial yang signifikan akibat perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (*Land Use and Land Cover*, LULC). Dalam kurun waktu 2016 hingga 2021, terjadi penurunan luas lahan vegetasi sebesar 35,11 km² (11,39%) dan peningkatan lahan pemukiman sebesar 29,98 km² (9,73%) (Aryastana dkk., 2023). Fenomena ini menunjukkan konversi lahan hijau yang semakin intensif, terutama menjadi kawasan permukiman dan komersial. Sebagai kabupaten dengan luas terkecil di Bali, Klungkung memiliki daya dukung yang terbatas terhadap tekanan pembangunan. Pembangunan Pusat Kebudayaan Bali (PKB) di Kabupaten Klungkung, yang mencakup luas lahan sekitar 334 hektare, telah mengubah kawasan eks-lahan tidak produktif menjadi kawasan strategis provinsi dengan proyek lintas-sektor (pendidikan, budaya, pelabuhan, MICE, dan lainnya). Dari total tersebut, sekitar 221 hektare lahan dibebaskan, dengan keterlibatan masyarakat lokal dalam proses negosiasi dan pelaksanaan proyek (Nuriawan, 2024). Transformasi lahan ini berimplikasi langsung pada perubahan spasial LULC kawasan, menjadikan Klungkung sebagai wilayah yang sangat relevan untuk pemantauan dinamis tutupan lahan.

Dalam konteks perencanaan wilayah, data LULC yang akurat dan terkini sangat penting untuk pengambilan keputusan berbasis bukti. Namun, pada praktiknya, masih sering ditemukan kesenjangan antara rencana tata ruang dan pelaksanaannya. Penelitian oleh Hakim dkk. (2021) menunjukkan bahwa kesenjangan tersebut dapat mencapai 42% antara kebijakan RTRW dan implementasi lapangan di Kabupaten Garut. Hal ini menegaskan perlunya data spasial yang objektif dan terbaru secara berkala agar perencanaan tata ruang dapat lebih adaptif dan responsif terhadap kondisi riil.

Perkembangan teknologi *remote sensing* dan *cloud computing* telah membuka peluang besar dalam penyediaan data spasial berkualitas. Salah satu platform yang banyak digunakan adalah Google Earth Engine (GEE), yang menyediakan akses langsung ke citra satelit resolusi tinggi seperti Sentinel-2, dengan kemampuan pemrosesan data *multi-temporal* secara efisien (Adrian dkk., 2023). GEE

memungkinkan pemrosesan data dalam jumlah besar tanpa ketergantungan pada perangkat lokal, serta memfasilitasi integrasi indeks spasial seperti NDVI, EVI, FVC, dan NDBI yang relevan untuk analisis perubahan LULC. Selain efisiensi, GEE juga menawarkan konsistensi dalam reproduksi analisis spasial karena basis pemrogramannya yang terstruktur dan dapat dibagikan ulang.

Di sisi lain, kemajuan *machine learning* juga memberikan kontribusi signifikan terhadap analisis spasial, khususnya dalam memahami dan memetakan perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (*Land Use and Land Cover*, LULC) dari data citra satelit. Salah satu contoh metode *machine learning* yang banyak digunakan dalam analisis data spasial adalah K-Means (Irwan dkk., 2023). Dengan adanya integrasi antara platform *cloud* seperti Google Earth Engine dan pendekatan *machine learning*, analisis perubahan LULC dapat dilakukan secara lebih efisien dan akurat di wilayah dengan dinamika spasial yang tinggi. Dalam konteks yang lebih luas, Gaur & Singh (2023) menunjukkan bahwa integrasi model *machine learning* dengan pendekatan statistik dapat memberikan prediksi perubahan LULC yang akurat dan bermanfaat bagi tujuan keberlanjutan, karena memungkinkan deteksi awal terhadap degradasi lahan dan ancaman ekologis lainnya.

Meskipun demikian, tantangan tetap ada. Data *remote sensing* bersifat dinamis secara temporal dan heterogen secara spasial, sehingga membutuhkan pendekatan teknis yang andal dan *scalable* untuk menganalisisnya secara efisien. Penggabungan antara platform GEE dan *machine learning* menawarkan solusi yang menjanjikan, karena keduanya saling melengkapi. GEE sebagai penyedia dan pemroses data, *machine learning* sebagai alat analitik untuk menemukan pola spasial secara otomatis.

Namun hingga saat ini, penelitian yang secara spesifik menggabungkan GEE dan *Machine Learning* untuk mengamati dinamika spasial LULC di wilayah kecil seperti Klungkung masih terbatas. Padahal, wilayah seperti Klungkung yang secara administratif kecil namun memiliki tekanan pembangunan tinggi justru membutuhkan pengawasan spasial yang lebih ketat agar tetap sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan. Dengan demikian, terdapat celah penelitian

yang penting untuk dijawab, terutama dalam hal efektivitas metode *unsupervised learning* berbasis platform *cloud* dalam konteks spasial lokal di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengidentifikasi dan menganalisis pola spasial perubahan LULC di Kabupaten Klungkung selama periode 2019, 2021, dan 2023. Dengan memanfaatkan integrasi antara Google Earth Engine dan *Machine Learning*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat, rinci, dan relevan terkait dinamika penggunaan lahan di tingkat kabupaten. Hasil yang diperoleh dapat mendukung upaya perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya lahan secara lebih berbasis data, efisien, dan berkelanjutan.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana distribusi dan perubahan spasial penggunaan lahan serta tutupan lahan (LULC) di Kabupaten Klungkung selama periode tahun 2019–2023 berdasarkan hasil analisis Google Earth Engine (GEE) dan algoritma K-Means clustering?
- b. Bagaimana kualitas hasil pemetaan perubahan LULC yang dihasilkan dari integrasi Google Earth Engine dan algoritma K-Means *clustering* dilihat dari konsistensi spasial dan nilai evaluasi klaster pada periode 2019–2023 di Kabupaten Klungkung?
- c. Bagaimana peran Google Earth Engine dalam mendukung proses ekstraksi data spasial multi-temporal dan pemrosesan variabel citra untuk analisis perubahan LULC di Kabupaten Klungkung?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mengidentifikasi distribusi spasial dan perubahan pola *Land Use and Land Cover* (LULC) di Kabupaten Klungkung selama periode 2019–2023 melalui pemrosesan citra satelit multi-temporal menggunakan Google Earth Engine dan algoritma K-Means clustering.

- b. Mengevaluasi kualitas hasil pemetaan perubahan LULC berdasarkan hasil clustering, dengan memperhatikan konsistensi spasial dan nilai metrik evaluasi seperti Silhouette Score dan Davies-Bouldin Index untuk tahun 2019, 2021, dan 2023.
- c. Menganalisis peran Google Earth Engine dalam mendukung proses ekstraksi data spasial multi-temporal dan pemrosesan variabel citra sebagai bagian dari alur kerja analisis perubahan LULC di Kabupaten Klungkung.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini:

- a. Bagi Pemerintah Daerah: Menyediakan informasi spasial yang akurat dan terkini mengenai perubahan LULC, sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan, evaluasi, dan penyesuaian kebijakan tata ruang, serta mendukung pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan.
- b. Bagi Pengambil Kebijakan dan Instansi: Memberikan data dan visualisasi perubahan penggunaan lahan yang dapat dimanfaatkan untuk pengambilan keputusan strategis dalam pengelolaan sumber daya alam, mitigasi risiko lingkungan, serta perlindungan kawasan penting.
- c. Bagi Peneliti dan Akademisi di Bidang Geospasial dan Lingkungan: Menjadi referensi metodologis dalam penerapan Google Earth Engine dan algoritma K-Means pada analisis perubahan LULC, serta memperluas literatur dan pengembangan riset geospasial berbasis machine learning di Indonesia.
- d. Bagi Komunitas Lingkungan dan Masyarakat: Meningkatkan kesadaran akan pentingnya pemantauan perubahan LULC, serta menyediakan dasar bukti untuk advokasi perlindungan lingkungan, upaya konservasi, dan pengawasan konversi lahan di tingkat lokal.
- e. Bagi Pihak Swasta (Pengembang, Konsultan, dan Pelaku Usaha): Memberikan gambaran kondisi aktual perubahan penggunaan lahan yang dapat menjadi pertimbangan dalam perencanaan investasi, pengembangan kawasan, dan penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan

I.5 Ruang Lingkup Batasan dan Asumsi

Penelitian ini memiliki ruang lingkup terbatas pada wilayah administratif Kabupaten Klungkung, Provinsi Bali, dengan fokus utama pada identifikasi dan analisis perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (LULC) dalam rentang waktu tahun 2019, 2021, dan 2023. Data yang digunakan merupakan citra satelit Sentinel-2 yang diperoleh dan diproses menggunakan platform Google Earth Engine (GEE). Analisis dilakukan melalui pendekatan *unsupervised clustering* menggunakan algoritma K-Means, dengan fokus pada pengelompokan area berdasarkan enam variabel spasial utama: NDVI, EVI, FVC, NDBI, elevasi, dan kepadatan penduduk.

Batasan dalam penelitian ini mencakup: penggunaan data Sentinel-2 dengan resolusi 10 meter, klasifikasi terbatas pada dua klaster dominan (vegetatif dan terbangun), dan tidak dilakukannya validasi *ground-truth* secara langsung di lapangan. Selain itu, hasil analisis hanya mencerminkan perubahan spasial permukaan dan tidak secara langsung mengindikasikan perubahan administratif atau legal penggunaan lahan.

Penelitian ini mengasumsikan bahwa citra yang digunakan telah melalui proses koreksi radiometrik dan atmosferik yang memadai. Selain itu, nilai-nilai indeks vegetasi dan bangunan dianggap cukup representatif untuk menggambarkan kondisi nyata tutupan lahan di wilayah studi selama periode pengamatan.

I.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori-teori dan konsep dasar yang terkait dengan masalah yang diteliti, serta studi-studi sebelumnya yang relevan.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini memuat strategi yang digunakan dan langkah-langkah yang diambil untuk mencapai tujuan penelitian.

4. Bab IV Penyelesaian Permasalahan

Bab ini memberikan analisis mendalam mengenai data dan kebutuhan yang terkait dengan penelitian ini.

5. Bab V Validasi, Analisis Hasil, dan Implikasi

Bab ini menjelaskan proses implementasi model yang dirancang dan hasil-hasil pengujian yang dilakukan. Penjelasan mengenai langkah-langkah yang diambil, tantangan yang dihadapi, dan solusi yang diterapkan juga disertakan.

6. Bab VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini menyimpulkan hasil keseluruhan penelitian dengan memberikan rangkuman. Selain itu, diberikan pula saran dan rekomendasi konstruktif untuk pengembangan penelitian lebih lanjut