

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tutupan lahan di berbagai wilayah terus mengalami transformasi secara dinamis sebagai akibat dari interaksi antara kegiatan manusia dan kondisi alam. Transformasi tersebut meliputi peralihan kawasan hutan menjadi berbagai jenis penggunaan lahan lain, seperti kawasan pemukiman penduduk, zona industri, lahan pertanian, maupun pembangunan infrastruktur. Di antara berbagai bentuk transformasi tersebut, deforestasi merupakan yang paling krusial, yakni hilangnya kawasan berhutan secara permanen dan beralih menjadi lahan tidak berhutan. Fenomena ini mendapat sorotan luas di tingkat global mengingat konsekuensinya yang serius, mulai dari merosotnya kualitas ekosistem, berkurangnya kekayaan hayati, degradasi lingkungan, hingga lonjakan emisi gas rumah kaca yang memperburuk krisis iklim dunia [1, 2].

Pendekatan konvensional dalam memantau deforestasi melalui survei langsung di lapangan menghadapi sejumlah kendala mendasar, antara lain keterbatasan anggaran, proses pengumpulan data yang memakan waktu panjang, serta jangkauan wilayah yang terbatas. Kendala-kendala ini menjadi semakin krusial ketika pemantauan dilakukan pada kawasan yang sangat luas dan sulit dijangkau. Dalam kondisi demikian, teknologi penginderaan jauh hadir sebagai alternatif yang lebih efektif untuk memantau dinamika tutupan lahan secara spasial dan temporal. Melalui pemanfaatan citra satelit, pengamatan terhadap permukaan bumi dapat dilakukan secara berkala, terstandarisasi, dan konsisten, sehingga menjadikannya instrumen utama dalam penelitian perubahan tutupan lahan maupun deforestasi [3].

Salah satu satelit penginderaan jauh yang saat ini banyak diandalkan adalah Sentinel-2 milik *European Space Agency* (ESA). Satelit ini menghasilkan data citra multispektral dengan resolusi spasial mencapai 10 meter dan siklus perekaman yang cukup singkat. Kombinasi keunggulan spasial, spektral, dan temporal tersebut menempatkan Sentinel-2 sebagai instrumen yang ideal untuk keperluan analisis vegetasi, pemetaan tutupan lahan, serta pemantauan perubahan lahan di berbagai skala wilayah. Ketersediaan data Sentinel-2 secara terbuka dan gratis semakin memperluas pemanfaatannya dalam komunitas penelitian akademik maupun dalam

pengembangan sistem berbasis data geospasial [4].

Dalam penelitian ini, tahap pengolahan awal data citra satelit dilaksanakan menggunakan platform *Google Earth Engine* (GEE), sebuah sistem yang menyediakan akses terhadap arsip citra Sentinel-2 sekaligus kemampuan komputasi geospasial yang andal. Data citra yang telah diolah selanjutnya diekspor dan dimanfaatkan sebagai dataset pada tahap klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest* di lingkungan komputasi lokal. Pemisahan antara proses pengolahan citra dan proses pemodelan *machine learning* ini membuka ruang analisis performa model yang lebih fleksibel dan terkontrol.

Seiring pesatnya perkembangan bidang Informatika, khususnya dalam domain *machine learning*, pendekatan klasifikasi citra satelit kini mampu melampaui performa metode-metode statistik konvensional secara signifikan. Algoritma *Random Forest* termasuk dalam kategori metode *ensemble learning* yang telah terbukti handal untuk klasifikasi citra, terutama karena kapasitasnya menangani data berdimensi tinggi, ketahanannya terhadap *noise*, serta kemampuan generalisasinya yang solid. Cara kerja *Random Forest* bertumpu pada pembangunan sejumlah pohon keputusan secara acak melalui teknik *bootstrap aggregating*, kemudian mengintegrasikan hasil prediksi dari seluruh pohon melalui mekanisme pemungutan suara (*voting*), sehingga risiko *overfitting* dapat ditekan secara efektif [5, 6].

Berbagai kajian telah membuktikan bahwa sinergi antara citra Sentinel-2 dan algoritma *Random Forest* mampu menghasilkan akurasi klasifikasi tutupan lahan yang tinggi, sekaligus efektif diterapkan dalam analisis perubahan lahan secara temporal [7, 8]. Penerapan *Random Forest* pada data Sentinel-2 terbukti dapat membedakan berbagai kelas tutupan lahan dengan memanfaatkan fitur spektral dan indeks vegetasi. Namun demikian, penelitian-penelitian terdahulu masih menyimpan sejumlah keterbatasan: penggunaan data bersifat *snapshot* tanpa eksplorasi multitemporal yang memadai, evaluasi model yang hanya bertumpu pada *overall accuracy*, serta proses pengolahan citra dan pemodelan yang umumnya berjalan terpisah sehingga mengurangi sistematisitas dan reproduktibilitas alur kerja. Penelitian ini hadir untuk menjawab kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan kedua proses dalam satu *pipeline* yang terstruktur, serta mengevaluasi konsistensi model dalam rentang waktu yang lebih panjang menggunakan metrik yang komprehensif, meliputi *confusion matrix*, *accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan koefisien kappa.

Meski demikian, perlu diakui bahwa sebagian besar penelitian yang ada

masih sangat bergantung pada data referensi lapangan (*ground truth*) yang dalam praktiknya sulit diperoleh secara memadai untuk wilayah yang luas. Dalam perspektif Informatika, kondisi ini menjadi tantangan tersendiri dalam membangun model klasifikasi yang mampu bersifat generalis. Sebagai solusinya, penelitian ini mengadopsi dataset referensi global ESA WorldCover sebagai *digital ground truth* yang telah mendapat validasi internasional dan memiliki resolusi spasial yang selaras dengan Sentinel-2 [9].

Provinsi Banten dipilih sebagai area kajian karena wilayah ini termasuk dalam kategori provinsi di Pulau Jawa yang menghadapi tekanan deforestasi dan alih fungsi lahan yang cukup intens. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), laju deforestasi di Banten selama rentang 2021–2023 tergolong tinggi untuk kawasan barat Pulau Jawa, yang dipicu oleh ekspansi industri, permukiman, dan infrastruktur seiring pertumbuhan ekonomi regional yang pesat [10]. Kondisi tersebut menjadikan Banten sebagai kasus yang representatif untuk menguji model klasifikasi multitemporal berbasis *machine learning*.

Penelitian ini tidak sekadar berfokus pada output klasifikasi tutupan lahan, tetapi juga menekankan pada evaluasi kinerja model dan analisis konsistensinya lintas periode waktu. Pendekatan yang diambil menitikberatkan pada aspek Informatika, yaitu perancangan *pipeline* pemrosesan citra, ekstraksi fitur spektral, pembangunan model *Random Forest*, serta evaluasi dan analisis generalisasi model. Diharapkan, penelitian ini dapat berkontribusi dalam pengembangan metode klasifikasi citra satelit yang sistematis, terukur, dan dapat direproduksi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana membangun model klasifikasi citra Sentinel-2 menggunakan algoritma *Random Forest* untuk membedakan kelas hutan dan non-hutan di Provinsi Banten?
2. Bagaimana performa dan konsistensi model *Random Forest* dalam klasifikasi citra multitemporal berdasarkan metrik evaluasi *machine learning*?
3. Fitur spektral band Sentinel-2 (B2, B3, B4, B8, B11, B12) apa yang paling berpengaruh terhadap hasil klasifikasi tutupan lahan?
4. Indeks vegetasi (NDVI, NDWI, NDBI) apa yang memberikan kontribusi terbesar terhadap akurasi klasifikasi tutupan lahan?

5. Bagaimana mengidentifikasi perubahan tutupan hutan (deforestasi) berdasarkan hasil klasifikasi citra Sentinel-2 pada periode 2019, 2021, dan 2023?

1.3 Batasan Permasalahan

1. Data yang digunakan berupa citra Sentinel-2 Level-2A (*surface reflectance*).
2. Wilayah studi dibatasi pada Provinsi Banten.
3. Klasifikasi dilakukan pada dua kelas utama, yaitu hutan dan non-hutan.
4. Algoritma klasifikasi yang digunakan adalah *Random Forest*.
5. Parameter *Random Forest* yang dioptimasi meliputi jumlah pohon (*n_estimators*), kedalaman maksimum pohon (*max_depth*), serta jumlah fitur pada setiap *split* (*max_features*).
6. Penelitian difokuskan pada aspek Informatika, meliputi pemrosesan data, ekstraksi fitur, perancangan model, dan evaluasi performa.
7. Data citra yang digunakan berasal dari tahun 2019, 2021, dan 2023 untuk analisis multitemporal.
8. Penelitian ini tidak melakukan verifikasi lapangan secara langsung; label kelas tutupan lahan diperoleh dari dataset global ESA WorldCover yang diakses melalui Google Earth Engine.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengimplementasikan algoritma *Random Forest* untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan citra Sentinel-2 di Provinsi Banten.
2. Mengevaluasi performa dan konsistensi model berdasarkan metrik evaluasi *machine learning* yang komprehensif (*accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, dan koefisien kappa).
3. Menganalisis kontribusi masing-masing fitur spektral band Sentinel-2 (B2, B3, B4, B8, B11, B12) dan indeks vegetasi (NDVI, NDWI, NDBI) terhadap hasil klasifikasi menggunakan *feature importance*.

4. Mengidentifikasi dan mengukur perubahan tutupan hutan (deforestasi) berdasarkan analisis multitemporal hasil klasifikasi tahun 2019, 2021, dan 2023.

1.5 Manfaat Penelitian

1. **Manfaat Akademik:** sebagai referensi penerapan *machine learning* dalam klasifikasi citra satelit pada bidang Informatika, khususnya integrasi GEE dengan pemodelan berbasis *Random Forest*.
2. **Manfaat Teknis:** sebagai acuan perancangan *pipeline* klasifikasi citra multitemporal berbasis *Random Forest* yang sistematis dan *reproducible*.
3. **Manfaat Praktis:** sebagai landasan pengembangan sistem pemantauan perubahan tutupan lahan secara otomatis guna mendukung kebijakan pengelolaan lingkungan, khususnya di wilayah Provinsi Banten.
4. **Manfaat Metodologis:** memberikan gambaran evaluasi model yang komprehensif melalui penggunaan berbagai metrik statistik (*accuracy*, *precision*, *recall*, *F1-score*, *kappa*) melampaui sekadar *overall accuracy* yang umum digunakan pada penelitian terdahulu.

1.6 Sistematika Penulisan

- **Bab I Pendahuluan** berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
- **Bab II Landasan Teori** membahas teori penginderaan jauh, citra satelit Sentinel-2, *machine learning*, algoritma *Random Forest*, indeks spektral vegetasi, dan metrik evaluasi model.
- **Bab III Metodologi Penelitian** menjelaskan tahapan penelitian, dataset, *preprocessing*, ekstraksi fitur, dan perancangan model.
- **Bab IV Hasil dan Pembahasan** menyajikan hasil klasifikasi, evaluasi model, analisis *feature importance*, dan analisis perubahan tutupan lahan multitemporal.
- **Bab V Simpulan dan Saran** berisi kesimpulan penelitian dan rekomendasi untuk pengembangan selanjutnya.