

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era digital saat ini, teknologi informasi telah menjadi tulang punggung berbagai sektor, mulai dari bisnis, pemerintahan, pendidikan, dan lingkungan. Teknologi informasi penting dalam mengolah data yang besar dan kompleks menjadi informasi yang dapat ditindaklanjuti untuk pengambilan keputusan yang lebih baik [1], [2]. Salah satu bidang yang sangat diuntungkan oleh perkembangan teknologi informasi adalah *remote sensing* dan *geographic information system* (GIS). Kedua teknologi ini memungkinkan kita untuk memantau, menganalisis, dan mengelola sumber daya alam dan lingkungan dengan cara yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan. *Remote sensing dan geographic information system* (GIS) telah merevolusi metode pemantauan, analisis, dan pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan. GIS yang canggih, yang didukung oleh teknik penginderaan jarak jauh, memberikan analisis spasial yang rinci mengenai ekosistem hutan, sehingga membantu pengelolaan lingkungan yang efisien [3], [4].

Remote sensing atau penginderaan jarak jauh adalah teknologi transformatif yang memungkinkan pengumpulan data dari permukaan bumi tanpa kontak fisik secara langsung, dengan menggunakan satelit, pesawat terbang, drone, dan instrumen berbasis darat. Penginderaan jauh menangkap berbagai bentuk radiasi elektromagnetik, termasuk cahaya tampak, inframerah, dan gelombang mikro, untuk mengumpulkan informasi seperti citra satelit, data iklim, dan perubahan tutupan lahan. Pemrosesan data ini membutuhkan kemampuan komputasi yang tinggi dan alat analisis yang canggih, yang dimungkinkan oleh kemajuan teknologi informasi [5], [6].

Salah satu inovasi terbaru dalam penginderaan jarak jauh adalah *Google Earth Engine* (GEE). Platform komputasi berbasis cloud ini memungkinkan pengguna untuk menganalisis dan memvisualisasikan data geospasial dalam skala besar. Sejak diluncurkan pada tahun 2010, GEE dengan cepat menjadi landasan dalam komunitas penginderaan jauh global. GEE menyediakan akses ke berbagai dataset penginderaan jauh, termasuk data dari satelit Sentinel-2 yang dikembangkan oleh Badan Antariksa Eropa (ESA). Data Sentinel-2 menawarkan resolusi spasial yang tinggi dan pengumpulan data yang sering, sehingga sangat ideal untuk memantau perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (LULC). GEE memfasilitasi berbagai aplikasi, termasuk pemantauan LULC, pengelolaan sumber daya air, studi perubahan iklim, dan pemetaan tanaman [7], [8].

Penggunaan Lahan dan Perubahan Tutupan Lahan (LULC) merupakan fenomena lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam yang signifikan. Pertumbuhan penduduk yang cepat telah meningkatkan aktivitas manusia seperti pertanian, pembangunan, dan perluasan pemukiman, yang mempengaruhi LULC. Perubahan ini secara signifikan berdampak pada sistem ekologi, iklim, dan keanekaragaman hayati. Sebagai contoh, di wilayah Chure, Nepal, perubahan LULC selama 15 tahun terakhir telah menyebabkan peningkatan tutupan hutan sebesar 16%, bersamaan dengan pertumbuhan yang signifikan pada area pertanian dan pembangunan, sementara lahan tandus dan area perairan mengalami penurunan [9]. Demikian pula, di Lembah Rur Jerman, penggantian hutan dengan permukiman perkotaan, lahan pertanian, atau padang rumput telah meningkatkan limpasan air di lembah sebesar 43%, 14%, dan 4%, yang menyoroiti dampak hidrologis dari perubahan LULC [10]. Di Thrace, Yunani Utara, pengabaian pedesaan dan urbanisasi telah mengubah pola lanskap dan kualitas lingkungan, menekankan perlunya perencanaan tata ruang dan kebijakan restorasi untuk mempertahankan jasa ekosistem [11]. Selain itu, perubahan iklim memperburuk dampak ini dengan mengubah elemen hidrologi seperti pengisian ulang dan limpasan, dengan urbanisasi yang terutama memengaruhi sumber daya air tanah melalui peningkatan permukaan kedap air dan polusi [12].

Tutupan hutan di Kabupaten Karo mencakup 98.644,5 ha hutan lindung, 7 ha hutan suaka alam, 15.592 ha hutan produksi terbatas, dan 11.293 ha hutan produksi, dengan total luas 125.536,50 ha. Namun demikian, sebagian dari kawasan hutan tersebut sudah dalam kondisi yang sangat memprihatinkan, terlihat dari menurunnya produksi hasil hutan seperti damar, rotan, dan kayu, yang semakin berkurang setiap tahunnya dan bahkan menghilang dalam beberapa tahun terakhir. Tren degradasi hutan dan perubahan tutupan lahan yang serupa juga terlihat di daerah lain, seperti Taman Nasional Gunung Leuser (TNGL) di Sumatera Utara, di mana kebakaran hutan dan pembukaan lahan untuk perkebunan telah mengurangi luas hutan lahan kering primer secara drastis, sehingga berdampak pada habitat orangutan Sumatera [13].

Memahami dan memprediksi Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan (LULC) membutuhkan pendekatan analisis yang kuat dan akurat. Metode kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) seperti Random Forest menjadi sangat penting untuk tugas ini. Random Forest, sebuah algoritma machine learning yang membangun beberapa pohon keputusan selama pelatihan, dapat secara signifikan meningkatkan akurasi model prediksi perubahan LULC jika diintegrasikan dengan data penginderaan jauh dari platform seperti Google Earth Engine (GEE). Penelitian telah menunjukkan bahwa model Random Forest mengungguli model

klasifikasi dalam memprediksi perilaku pelanggan dalam kampanye pemasaran dengan memanfaatkan beberapa pohon keputusan untuk meningkatkan akurasi prediksi [14], [15]. Mengintegrasikan Random Forest dengan data penginderaan jauh yang luas dari GEE dapat memberikan kerangka kerja yang kuat untuk menganalisis perubahan LULC, mirip dengan bagaimana model machine learning telah digunakan untuk menganalisis kepuasan pelanggan dari data media sosial dengan memasukkan fitur tambahan di luar sentimen teks [16], [17].

Penelitian ini akan memanfaatkan teknologi informasi, khususnya data GEE dan Sentinel-2, serta metode Random Forest dengan algoritma *smileRandomForest* untuk memprediksi perubahan penggunaan dan tutupan lahan pada tahun 2030. Pendekatan ini bertujuan untuk memberikan wawasan yang lebih dalam dan prediksi yang lebih akurat dengan memanfaatkan data time series dari tahun 2017 hingga 2023 untuk membangun model prediksi yang memproyeksikan kondisi LULC pada tahun 2030. Hasil dari penelitian ini akan sangat berguna dalam mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan lahan berkelanjutan dan perencanaan wilayah. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi informasi dalam penginderaan jauh dan upaya konservasi dan pengelolaan lingkungan yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini akan menjawab beberapa pertanyaan utama:

1. Bagaimana dinamika perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan (LULC) di Kabupaten Karo dari waktu ke waktu?
2. Bagaimana mengembangkan model prediksi LULC yang akurat menggunakan data Sentinel-2, platform Google Earth Engine (GEE), dan algoritma random forest di Kabupaten Karo?
3. Bagaimana akurasi dan reliabilitas model prediksi LULC yang dikembangkan dalam memprediksi perubahan LULC di masa depan di Kabupaten Karo?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini meliputi penggunaan data citra satelit Sentinel-2 dengan resolusi spasial 10 meter untuk periode 2017-2023, cakupan wilayah penelitian yang hanya mencakup Kabupaten Karo, serta proyeksi prediksi yang diasumsikan mengikuti tren historis tanpa mempertimbangkan perubahan kebijakan atau faktor eksternal lain yang mungkin terjadi hingga 2030.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi perubahan penggunaan dan penutupan lahan (Land Use and Land Cover/LULC) di Kabupaten Karo pada tahun 2030 menggunakan data deret waktu dari citra satelit Sentinel-2 dan algoritma Random Forest. Prediksi ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan berkelanjutan serta perencanaan wilayah yang efektif di masa depan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. **Dukungan Pengambilan Keputusan:** Penelitian ini menyediakan data prediktif tentang perubahan penggunaan lahan di Kabupaten Karo hingga 2030, yang bermanfaat bagi pembuat kebijakan dalam pengelolaan lahan dan konservasi lingkungan.
2. **Perencanaan Wilayah Berkelanjutan:** Prediksi perubahan lahan dapat menjadi dasar perencanaan tata ruang yang lebih berwawasan lingkungan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.
3. **Konservasi Sumber Daya Alam:** Informasi mengenai deforestasi dan alih fungsi lahan membantu memprioritaskan area yang perlu perhatian lebih untuk pelestarian.
4. **Pengembangan Teknologi:** Penelitian ini memperlihatkan penerapan teknologi penginderaan jauh dan algoritma machine learning dalam prediksi LULC, sehingga berpotensi mendorong inovasi dalam pemantauan lingkungan.