

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang Masalah

Sektor pertanian merupakan bagian penting dalam pembangunan ekonomi Indonesia, terutama dalam mendukung kesejahteraan masyarakat pedesaan dan meningkatkan devisa negara. Salah satu komoditas perkebunan unggulan yang memiliki peran strategis adalah kopi. Indonesia dikenal sebagai salah satu produsen kopi terbesar di dunia dengan dua jenis kopi utama, yaitu arabika dan robusta. Komoditas ini tidak hanya berperan sebagai sumber pendapatan bagi petani, tetapi juga memiliki nilai ekonomi yang kuat dalam perdagangan domestik maupun internasional. Produktivitas kopi sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama faktor iklim [1]. Variabel seperti curah hujan, suhu udara, intensitas radiasi matahari, dan kelembapan memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman kopi, mulai dari pembentukan tunas, perkembangan buah, hingga proses pematangan. Perubahan pola iklim yang semakin tidak menentu, ditandai oleh anomali cuaca, pergeseran musim, dan peningkatan frekuensi kejadian ekstrem dapat mengganggu keseimbangan kebutuhan fisiologis tanaman kopi dan berpotensi menurunkan produksi [2].

Kabupaten Bener Meriah yang terletak di Provinsi Aceh merupakan salah satu sentra utama penghasil kopi Arabika di Indonesia. Kondisi agroklimat Bener Meriah yang berada pada dataran tinggi menjadikan wilayah ini ideal untuk budidaya kopi berkualitas. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, fluktuasi produksi kopi di daerah ini cukup signifikan. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan variabilitas iklim yang berdampak pada proses budidaya dan hasil panen. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang dapat menjelaskan hubungan antara faktor iklim dan produksi kopi di wilayah ini secara lebih mendalam dan terukur [3]. Perkembangan teknologi geospasial dan pemrosesan data berbasis komputasi awan memberikan peluang baru untuk analisis lingkungan dalam skala spasial dan temporal yang luas. *Google Earth Engine* (GEE) merupakan salah satu *platform* yang menyediakan akses ke berbagai data iklim global serta kemampuan pemrosesan data secara cepat dan efisien. Melalui GEE, data iklim dapat diperoleh secara konsisten untuk periode yang panjang, sehingga dapat digunakan untuk memantau perubahan kondisi iklim pada lahan perkebunan kopi di Bener Meriah [4].

Di sisi lain, kemajuan metode analisis data berbasis *machine learning* memungkinkan pemodelan hubungan antara variabel iklim dan produksi kopi secara lebih akurat. Algoritma *XGBoost* dan *Random Forest* merupakan dua metode pembelajaran mesin yang dikenal efektif dalam menangani hubungan non-linear, multivariat, serta mampu mengidentifikasi variabel iklim yang paling berpengaruh terhadap produksi. Penggunaan kedua algoritma ini diharapkan dapat menghasilkan model prediksi produksi kopi yang lebih presisi dibandingkan metode statistik konvensional. Beberapa penelitian sebelumnya, seperti [5] di mana penelitian ini dapat memprediksi hasil produksi kopi di tahun yang akan datang dengan menggunakan data pada tahun sebelumnya. Penelitian ini hanya meneliti dan memperhitungkan data hasil produksi kopi pada tahun sebelumnya dan belum memperhitungkan faktor lainnya yang dapat mempengaruhi hasil produksi kopi. Penelitian dan pengujian ini menunjukkan bahwa dari tahun 2022 sampai dengan tahun 2026 terjadi peningkatan produksi kopi dengan tingkat produksi rata-rata sebesar 27.612,80 Ton. Penelitian dan pengujian ini diharapkan para petani kopi di daerah studi terus meningkatkan hasil produksi komoditas kopi untuk skala Nasional maupun internasional.

Kemudian penelitian yang juga dilakukan oleh [6] hasil pengolahan dan analisis data terhadap harga kopi robusta di Kabupaten Muara Enim menggunakan 3 algoritma di mana dapat disimpulkan bahwa pendekatan *data mining* memberikan hasil prediksi yang cukup akurat dan bermanfaat bagi pemangku kepentingan dalam rantai pasok kopi. Di antara ketiga algoritma yang digunakannya, *Random Forest* menunjukkan performa yang paling stabil dan akurat dalam meramalkan harga kopi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi ini memberikan kemudahan dalam analisis visual serta mendukung proses klasifikasi dan prediksi secara efisien. Hal serupa juga dilakukan oleh [7] dalam penelitian ini peneliti menerapkan model rantai *Markov* untuk memodelkan probabilitas transisi antar kategori hasil produksi kopi dari satu periode ke periode berikutnya. Analisis ini menunjukkan bahwa pendekatan rantai *Markov* mampu merepresentasikan pola temporal dan memberikan prediksi jangka pendek yang relatif andal berdasarkan data historis produksi. Namun penelitian tersebut juga menyoroti keterbatasan model khususnya ketergantungan pada data historis tanpa memasukkan variabel pengarah eksternal seperti parameter iklim, penggunaan lahan, atau intervensi teknis yang membuka peluang pengembangan lebih lanjut dengan menggabungkan faktor-faktor klimatologis atau metode pembelajaran mesin untuk meningkatkan akurasi prediksi.

Penelitian yang juga dilakukan [8] bertujuan untuk menganalisis keseimbangan antara produksi kopi nasional dengan total kebutuhan kopi Indonesia yang mencakup konsumsi domestik dan ekspor. Penelitian ini menggunakan pendekatan model sistem dinamik dengan bantuan perangkat lunak *Stella* untuk memetakan hubungan sebab-akibat antar variabel seperti luas lahan, produktivitas tanaman, tingkat konsumsi, dan volume ekspor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi kopi nasional masih mampu memenuhi kebutuhan hingga tahun 2034, namun mulai tahun 2035 hingga 2037 diprediksi terjadi defisit karena produksi tidak lagi mencukupi kebutuhan, di mana pada tahun 2037 produksi diperkirakan sebesar 894.831 ton sedangkan kebutuhan mencapai 925.806 ton. Validasi model menunjukkan tingkat akurasi yang baik dengan nilai MAPE antara 1% hingga 12%.

Berdasarkan karakteristik data dan literatur, algoritma *XGBoost* dihipotesiskan memberikan akurasi prediksi lebih tinggi dibanding *Random Forest*, namun perlu diuji secara empiris. Dugaan ini muncul karena karakteristik data iklim yang bersifat kompleks, non-linear, multivariat, serta memiliki dinamika spasial dan temporal yang tinggi. *XGBoost* dikenal mampu melakukan pembelajaran bertahap (*boosting*) dengan memperbaiki kesalahan model sebelumnya, sehingga lebih adaptif dalam menangkap pengaruh halus dan interaksi kompleks antar variabel iklim seperti curah hujan, suhu, radiasi matahari, dan kelembapan terhadap produksi kopi.

Namun demikian, secara awam juga dapat diasumsikan bahwa *Random Forest* memiliki keunggulan dalam hal stabilitas dan ketahanan terhadap *noise* data, terutama ketika data iklim mengandung fluktuasi ekstrem dan ketidakpastian yang tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu, seperti (Yunita et al., 2025), yang menunjukkan bahwa *Random Forest* mampu memberikan performa yang stabil dan akurat pada konteks komoditas kopi, meskipun tidak selalu unggul secara absolut dalam tingkat akurasi tertinggi.

Dengan demikian, hipotesis penelitian ini dapat dinyatakan bahwa *XGBoost* diperkirakan lebih unggul dalam menghasilkan akurasi prediksi produksi kopi karena kemampuannya memodelkan hubungan iklim yang kompleks secara lebih mendalam, sedangkan *Random Forest* diperkirakan menunjukkan performa yang lebih stabil dan konsisten, terutama pada data iklim yang berfluktuasi. Pengujian empiris selanjutnya diperlukan untuk membuktikan algoritma mana yang paling optimal dalam konteks agroklimat Kabupaten Bener Meriah.

Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan pentingnya peningkatan produktivitas dan perluasan lahan sebagai strategi untuk menjaga keberlanjutan pasokan kopi nasional, serta

memberikan dasar bagi perumusan kebijakan dan penelitian lanjutan yang berfokus pada prediksi hasil produksi kopi dengan mempertimbangkan faktor iklim dan teknologi. Hal ini menunjukkan urgensinya penelitian ini mengingat perubahan iklim telah menimbulkan ketidakpastian dalam pola produksi yang dapat mengancam stabilitas ekonomi petani dan industri kopi secara keseluruhan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variabel iklim terhadap produksi kopi serta membangun model prediksi produksi kopi di Kabupaten Bener Meriah dengan memanfaatkan data iklim dari *Google Earth Engine* dan algoritma *XGBoost* serta *Random Forest*. Hasil penelitian diharapkan menjadi rujukan ilmiah dalam pengembangan sistem pengelolaan perkebunan kopi yang tidak hanya reaktif, tetapi juga antisipatif dan adaptif terhadap dinamika perubahan iklim, sehingga mampu memperkuat ketahanan produksi kopi dalam jangka panjang.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hubungan variabel iklim terhadap perubahan produksi kopi di berbagai wilayah produksi pada Kabupaten Bener Meriah?
2. Bagaimana kinerja algoritma *XGBoost* dan *Random Forest* dalam memprediksi produksi kopi berdasarkan variabel iklim yang diekstraksi dari *Google Earth Engine*?
3. Model prediksi manakah yang paling optimal dalam memberikan estimasi produksi kopi berkelanjutan di Kabupaten Bener Meriah, khususnya dalam konteks variabilitas iklim yang dinamis dan potensi perubahan iklim jangka panjang?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tetap fokus dan terukur, maka perlu ditetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada wilayah Kabupaten Bener Meriah sebagai lokasi studi.
2. Variabel iklim yang digunakan curah hujan, suhu, intensitas cahaya, kelembapan udara, kelembapan tanah, kecepatan angin, selisih suhu harian, dan defisit tekanan uap yang diperoleh dari *dataset* satelit pada *Google Earth Engine*.

3. Data produksi kopi yang digunakan bersumber dari Dinas Pertanian dan Perkebunan, serta seluruh badan penyuluh kecamatan Kabupaten Bener Meriah dalam periode tahun 2021,2022, 2023, 2024 dan 2025.
4. Jumlah data sebanyak 220 desa dari 10 kecamatan yang ada di Kabupaten Bener Meriah.
5. Model prediksi produksi yang dibangun hanya menggunakan algoritma *XGBoost* dan *Random Forest*.
6. Penelitian ini berfokus pada analisis hubungan variabel iklim terhadap produksi kopi dan pembangunan model prediksi.

1.4 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan di atas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis hubungan serta mengukur tingkat kontribusi masing-masing variabel iklim, yaitu curah hujan, suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya terhadap perubahan produksi kopi di berbagai wilayah produksi pada Kabupaten Bener Meriah.
2. Membangun dan mengevaluasi model prediksi produksi kopi berbasis algoritma *XGBoost* dan *Random Forest* menggunakan data iklim yang diekstraksi dari *platform Google Earth Engine*.
3. Menentukan model prediksi yang paling optimal untuk menghasilkan estimasi produksi kopi berkelanjutan di Kabupaten Bener Meriah, dengan mempertimbangkan variabilitas iklim yang dinamis dan potensi perubahan iklim jangka panjang.

1.5 Manfaat penelitian

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, manfaat penelitian ini dapat diidentifikasi secara lebih terarah. Adapun manfaat penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagi petani dan pelaku usaha perkebunan kopi, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan tanaman kopi berdasarkan kondisi iklim yang terjadi pada masing-masing periode pertumbuhan. Informasi mengenai pola dan pengaruh variabel iklim terhadap produksi dapat membantu petani menentukan strategi budidaya yang lebih adaptif, seperti penentuan waktu tanam, pengaturan naungan, penggunaan pupuk secara lebih tepat, hingga tindakan pencegahan terhadap potensi

penurunan produksi akibat kondisi ekstrem. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi budidaya serta ketahanan usaha tani terhadap perubahan iklim.

2. Bagi pemerintah daerah dan instansi terkait, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam merumuskan strategi dan kebijakan yang berkaitan dengan pengembangan sektor perkebunan kopi di Kabupaten Bener Meriah. Informasi mengenai model prediksi produksi yang mempertimbangkan variabilitas iklim dapat mendukung perencanaan program peningkatan produktivitas, penetapan zonasi wilayah tanam yang sesuai kondisi lingkungan, serta penyusunan kebijakan adaptasi dan mitigasi risiko perubahan iklim. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memperkuat upaya pemerintah dalam pengelolaan sumber daya perkebunan yang berkelanjutan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat petani.
3. Bagi akademisi dan peneliti, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk referensi empiris mengenai pemodelan produksi tanaman berbasis data iklim yang diperoleh melalui *platform* penginderaan jauh, serta penerapan algoritma pembelajaran mesin seperti *XGBoost* dan *Random Forest* dalam konteks perkebunan. Hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian lanjutan pada kajian serupa, baik dengan objek tanaman berbeda, cakupan wilayah yang lebih luas, maupun pengembangan model prediksi dengan algoritma lain.