

SISTEM PENJADWALAN PEMUPUKAN KELAPA SAWIT MENGUNAKAN METODE *RANDOM FOREST REGRESSION*

Joanda Ade Darma, Kasmawi, Zuliar Efendi

Teknik Informatika, Politeknik Negeri Bengkalis

Jalan Bathin Alam Desa Sungai Alam, Kec. Bengkalis, Kab. Bengkalis, Indonesia

joandajoanda22@gmail.com

ABSTRAK

Pemupukan merupakan faktor krusial dalam meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit, khususnya pada lahan gambut yang memiliki karakteristik masam dan sensitif terhadap ketidaktepatan waktu aplikasi pupuk. Permasalahan yang umum terjadi di tingkat petani adalah penentuan jadwal pemupukan yang masih dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan pengalaman dan ingatan, tanpa mempertimbangkan data kondisi tanaman, tanah, serta faktor lingkungan, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi pemupukan dan meningkatkan pemborosan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi mobile penjadwalan pemupukan kelapa sawit berbasis metode *Random Forest Regression* untuk memprediksi waktu pemupukan secara akurat dan konsisten. Metode penelitian meliputi pengumpulan data lapangan dari petani, praproses data, pemodelan menggunakan *Random Forest Regression*, serta evaluasi kinerja model prediksi. Variabel yang digunakan mencakup umur tanaman, pH tanah, riwayat pemupukan, frekuensi pemupukan per tahun, dan curah hujan sebagai faktor lingkungan pendukung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model memiliki kinerja yang baik dengan nilai Mean Absolute Error sebesar 4,07 hari, Root Mean Squared Error sebesar 14,89 hari, dan R^2 Score sebesar 0,75. Model kemudian diintegrasikan ke dalam aplikasi mobile yang dilengkapi fitur notifikasi untuk mendukung pelaksanaan pemupukan secara tepat waktu, terjadwal, dan berbasis data. Aplikasi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pemupukan, mengurangi keterlambatan, serta mendukung produktivitas kelapa sawit secara berkelanjutan dan terukur.

Kata kunci: Kelapa Sawit, Penjadwalan Pemupukan, *Random Forest Regression*, *Machine Learning*, Aplikasi Mobile

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara dengan produksi kelapa sawit terbesar di dunia yang memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian nasional, baik sebagai sumber devisa negara maupun sebagai penunjang kesejahteraan petani perkebunan rakyat [1]. Namun demikian, tingginya produksi kelapa sawit nasional belum sepenuhnya diikuti oleh penerapan praktik budidaya yang efisien dan presisi, terutama pada aspek pemupukan yang merupakan salah satu komponen biaya terbesar dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit [2]. Pemupukan yang dilakukan tidak sesuai waktu yang tepat dapat mengakibatkan rendahnya penyerapan unsur hara oleh tanaman, terjadinya pencucian pupuk, serta meningkatnya pemborosan biaya operasional kebun [3].

Permasalahan penentuan jadwal pemupukan menjadi semakin kompleks pada perkebunan kelapa sawit yang berada di lahan gambut. Kondisi lahan gambut yang ditandai dengan tingkat keasaman yang tinggi serta kemampuan mengikat unsur hara yang relatif rendah menyebabkan keberhasilan pemupukan sangat dipengaruhi oleh ketepatan waktu aplikasi dan kondisi lingkungan sekitar. Tanah dengan tingkat pH yang terlalu rendah berpotensi menghambat penyerapan unsur hara esensial oleh tanaman, sehingga diperlukan pengelolaan pH tanah yang tepat baik sebelum maupun selama pelaksanaan pemupukan [3], [4]. Selain itu, curah hujan merupakan faktor yang

sangat krusial, karena intensitas hujan yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi pemupukan melalui proses penguapan ataupun pencucian unsur hara [5], [6].

Pada tingkat petani kecil, khususnya di Desa Tenggayun, Kabupaten Bengkalis, penentuan jadwal pemupukan masih banyak dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan pengalaman serta ingatan pribadi. Pendekatan tersebut cenderung mengesampingkan pemanfaatan data historis pemupukan, umur tanaman, kondisi tanah, serta faktor cuaca, yang seharusnya dijadikan dasar utama dalam proses penjadwalan berbasis data. Akibatnya, keterlambatan dan ketidaktepatan dalam penentuan waktu pemupukan kerap terjadi dan berdampak pada menurunnya tingkat produktivitas serta kualitas hasil panen kelapa sawit. Kondisi tersebut mencerminkan adanya kesenjangan antara kebutuhan pengelolaan kebun yang berbasis data dengan praktik di lapangan yang masih dilakukan secara manual [1].

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan dan *machine learning* membuka peluang yang luas untuk penerapannya dalam sektor pertanian presisi, termasuk pada pengelolaan pemupukan tanaman kelapa sawit. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa algoritma *machine learning* mampu menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat dalam menentukan kebutuhan serta waktu pemupukan dengan mempertimbangkan berbagai variabel lingkungan dan kondisi tanaman [7]. Metode *Random Forest Regression* sebagai salah satu

algoritma *ensemble learning* telah terbukti memiliki kinerja yang baik dalam menangani data yang bersifat nonlinier dan heterogen, sebagaimana karakteristik yang umum dijumpai pada data pertanian [8].

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama yang dihadapi adalah belum tersedianya sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit yang mampu menentukan waktu pemupukan secara tepat berdasarkan data kondisi tanaman dan lingkungan. Penjadwalan yang masih dilakukan secara konvensional menyebabkan ketidaktepatan waktu pemupukan, pemborosan biaya operasional, serta penurunan produktivitas kelapa sawit, khususnya pada lahan gambut yang memiliki karakteristik tanah dan kondisi lingkungan yang sensitif [9].

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit berbasis aplikasi mobile dengan memanfaatkan metode Random Forest Regression untuk menghasilkan prediksi waktu pemupukan yang akurat dan berbasis data.

Rencana penyelesaian masalah pada penelitian ini dilakukan melalui pengumpulan data lapangan yang meliputi umur tanaman, pH tanah, riwayat pemupukan, frekuensi pemupukan, serta curah hujan. Data tersebut selanjutnya diproses menggunakan metode Random Forest Regression untuk membangun model prediksi waktu pemupukan. Hasil prediksi kemudian diintegrasikan ke dalam aplikasi mobile yang dilengkapi fitur notifikasi sebagai pengingat jadwal pemupukan bagi petani. Melalui pendekatan ini, diharapkan ketepatan waktu pemupukan dapat ditingkatkan, pemborosan biaya dapat ditekan, dan produktivitas kelapa sawit dapat meningkat secara berkelanjutan

2. TINJAUAN PUSTAKA

Bagian tinjauan pustaka ini disusun untuk menyediakan dasar teoritis dan konseptual yang mendukung penelitian terkait penjadwalan pemupukan kelapa sawit berbasis *machine learning*. Pembahasan dalam bab ini meliputi konsep dasar tanaman kelapa sawit, prinsip serta penjadwalan pemupukan, dan kajian mengenai metode *Random Forest Regression* sebagai pendekatan prediktif yang relevan. Selain itu, tinjauan pustaka berperan dalam memposisikan penelitian ini terhadap studi-studi sebelumnya serta menegaskan kontribusi ilmiah yang ditawarkan dalam pengembangan sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit.

2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas strategis di sektor pertanian Indonesia karena memiliki peran yang signifikan dalam memberikan kontribusi terhadap pendapatan daerah maupun nasional. Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu komoditas yang paling diandalkan dalam sektor perkebunan. Namun, dalam empat tahun terakhir

menunjukkan adanya kecenderungan penurunan tingkat peningkatan produktivitas. Salah satu permasalahan utama yang memengaruhi kondisi tersebut adalah tingkat kesuburan tanah yang rendah, terutama akibat karakteristik tanah yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal [10]

2.2. Pemupukan Kelapa Sawit

Pemupukan memegang peranan yang sangat penting dalam kegiatan budidaya kelapa sawit karena berpengaruh secara langsung terhadap hasil produksi. Tanaman kelapa sawit diketahui memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap pemupukan, di mana kegiatan ini menyumbang sekitar 40 hingga 60% dari total biaya perawatan kebun. Oleh karena itu, pengelolaan pemupukan perlu dilakukan secara tepat dan efisien. Strategi pemupukan yang baik mengacu pada prinsip 5T, yaitu tepat jenis pupuk, tepat dosis, tepat cara aplikasi, tepat waktu, dan tepat lokasi pemberian pupuk. Praktik pemupukan umumnya dilaksanakan sesuai dengan prosedur standar operasional dengan menggunakan kombinasi pupuk anorganik seperti AC, RP, MOP, borat, dan dolomit, serta pupuk organik berupa jangkar kosong. Teknik pengaplikasian pupuk dilakukan dengan cara penaburan mengelilingi tanaman, dengan waktu pelaksanaan yang disesuaikan terhadap kondisi curah hujan ideal, yaitu berkisar antara 100 hingga 200 mm per bulan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian metode pengaplikasian pupuk mencapai 91,78%, namun ketepatan dosis pupuk MOP masih belum optimal, yakni hanya sebesar 80,56% dan berada di bawah standar yang ditetapkan. Temuan ini menunjukkan perlunya peningkatan pada tahap perencanaan serta pengawasan di lapangan. Melalui pendekatan yang lebih cermat dan berbasis data, sistem pemupukan yang mengacu pada prinsip 5T berpotensi meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit. [2].

2.3. Penjadwalan Pemupukan Kelapa Sawit

Penjadwalan pemupukan dalam budidaya tanaman kelapa sawit merupakan kegiatan yang sangat penting untuk menjaga ketersediaan unsur hara di dalam tanah serta mendukung produktivitas tanaman, terutama pada lahan gambut. Dalam praktik di lapangan, pemupukan umumnya dilakukan dengan mempertimbangkan fase pertumbuhan tanaman dan kondisi lingkungan, seperti umur tanaman, kelembapan tanah, serta curah hujan. Pada perkebunan kelapa sawit yang berada di lahan gambut, aplikasi pupuk dilakukan dengan perhatian khusus terhadap karakteristik lahan tersebut. Pemberian pupuk hayati dan NPK pada tanaman kelapa sawit belum menghasilkan berumur tiga tahun maupun tanaman menghasilkan berumur dua belas tahun tidak menunjukkan peningkatan emisi CO₂ yang signifikan. Emisi CO₂ menunjukkan kecenderungan menurun setelah penerapan pupuk hayati, namun kembali meningkat setelah pemberian pupuk NPK. Temuan ini

menunjukkan bahwa jenis pupuk dan waktu pengaplikasiannya memiliki pengaruh yang sangat penting. Oleh karena itu, penjadwalan pemupukan secara periodik menjadi hal yang krusial, baik pada tanaman belum menghasilkan maupun tanaman menghasilkan, yang memerlukan penyesuaian tidak hanya pada dosis dan jenis pupuk, tetapi juga pada waktu aplikasi dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan seperti curah hujan [5].

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dimanfaatkan sebagai landasan untuk memperkuat kerangka teoritis serta memperjelas posisi penelitian ini dibandingkan dengan studi-studi sebelumnya. Sejumlah penelitian yang berkaitan dengan penerapan *machine learning* di bidang pertanian, khususnya penggunaan metode Random Forest Regression dan pendekatan berbasis data dalam pengelolaan budidaya tanaman, disajikan sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh Nahya et al. mengkaji penggunaan metode Random Forest Regression dalam memprediksi hasil panen padi dengan mempertimbangkan berbagai variabel pertanian, antara lain luas lahan, jumlah bibit, jenis pupuk, curah hujan, keberadaan hama dan gulma, serta sistem tanam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Random Forest Regression mampu memberikan performa prediksi yang sangat baik, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,99 dan tingkat kesalahan prediksi yang rendah. Temuan tersebut menunjukkan bahwa metode Random Forest Regression efektif dalam memodelkan hubungan yang kompleks dan nonlinier pada data pertanian [11]

Penelitian lain yang dilakukan oleh Deone et al. membahas pemanfaatan *machine learning* untuk prediksi tanaman dan rekomendasi pemupukan berdasarkan data nutrisi tanah. Studi ini menekankan bahwa penggunaan variabel kondisi tanah, seperti kandungan unsur hara dan pH tanah, berperan penting dalam meningkatkan efisiensi pemupukan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *machine learning* berpotensi mendukung penerapan pertanian presisi melalui pengelolaan pemupukan yang lebih terarah dan efisien [12]

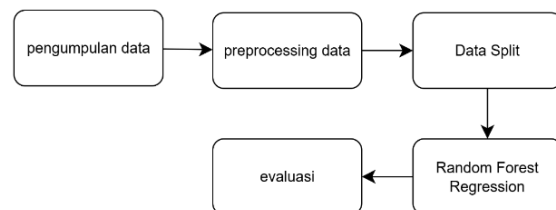
Meskipun demikian, penelitian oleh Nahya et al. masih berorientasi pada prediksi hasil panen sebagai keluaran utama tanpa membahas penentuan waktu pemupukan secara spesifik. Di sisi lain, penelitian Deone et al. lebih berfokus pada rekomendasi jenis dan dosis pupuk serta bersifat konseptual, sehingga belum mengkaji penerapan sistem dalam bentuk aplikasi yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh petani.

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *machine learning*, khususnya Random Forest Regression, memiliki potensi besar dalam mendukung pengelolaan pertanian berbasis data.

Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji penjadwalan waktu pemupukan kelapa sawit dengan mempertimbangkan variabel tanaman dan lingkungan, serta mengintegrasikannya ke dalam aplikasi mobile yang dilengkapi fitur notifikasi, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit yang lebih akurat, aplikatif, dan sesuai dengan kebutuhan petani.

3. METODE PENELITIAN

Bagian metode penelitian menjelaskan tahapan dan pendekatan yang digunakan dalam pengembangan sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit. Metode yang diterapkan meliputi proses pengumpulan data, tahap praproses data, pemodelan menggunakan metode *Random Forest Regression*, serta evaluasi kinerja model guna memastikan hasil prediksi yang akurat dan andal.



Gambar 1. Metode *Random Forest Regression*

Random Forest Regression merupakan salah satu metode dalam pembelajaran mesin yang digunakan untuk memprediksi nilai kontinu. Metode ini merupakan pengembangan dari *Decision Tree*, di mana *Random Forest Regression* memanfaatkan kumpulan pohon keputusan yang dibangun secara acak. Pendekatan ini mampu menghasilkan prediksi yang akurat serta efektif dalam menangani sampel data yang bersifat acak dan beragam.

3.1. Pengumpulan Data

Tahap pertama, yaitu pengumpulan data, merupakan proses untuk memperoleh data yang relevan untuk mendukung penelitian dan pengujian model. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini berupa data numerik yang dilengkapi dengan label yang menunjukkan kategori atau kelas dari masing-masing data. Jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai dataset berjumlah 83 baris, data ini diperoleh dari petani di Desa Tenggayun

3.2. Praproses Data

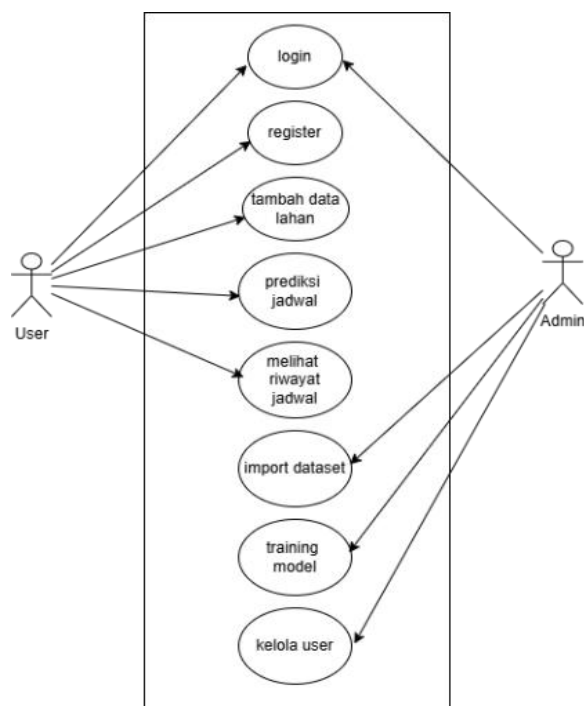
Tahap kedua, yaitu *preprocessing* data, merupakan proses yang harus dilakukan sebelum algoritma *Random Forest Regression* dapat mengolah data. Tahapan ini penting karena algoritma yang digunakan hanya mampu memproses data dalam bentuk numerik.

pada data historis serta model prediksi yang sudah tersedia.

Tahap prediksi dilakukan melalui dua proses utama. Proses pertama adalah *preprocessing*, yaitu penyesuaian dan penyeragaman data input agar sesuai dengan karakteristik data pada saat model dilatih. Proses kedua inferensi, dimana model *machine learning* digunakan untuk memperkirakan waktu pemupukan berikutnya sekaligus memberikan rekomendasi apakah pemupukan sebaiknya dilakukan atau di tunda sesuai dengan kondisi lahan.

Hasil perhitungan tersebut akan dikirim Kembali ke aplikasi dan ditampilkan kepada pengguna dalam bentuk jadwal pemupukan, notifikasi peringatan waktu pemupukan tiba serta riwayat hasil prediksi. Dengan alur kerja ini, aplikasi dapat menentukan status pelaksanaan pemupukan secara otomatis berdasarkan hasil prediksi kondisi lahan.

4.2. Design Usecase

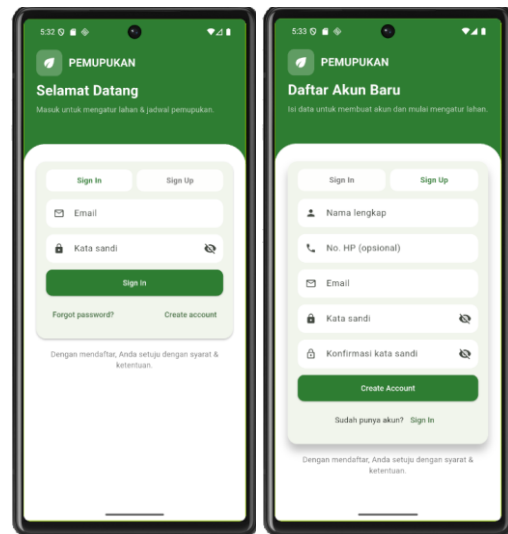


Gambar 3. Design Use Case

Gambar 3 memperlihatkan diagram *Use Case* yang menjelaskan interaksi antara pengguna dan admin dengan sistem. Pengguna memiliki hak akses melakukan login, mengelola data lahan, menyusun jadwal, serta melihat hasil prediksi dan riwayat pemupukan, sedangkan admin bertugas mengelola *ataset*, melakukan pelatihan model, dan memantau kinerja sistem. Diagram ini menunjukkan pembagian peran yang jelas untuk mendukung efektivitas dan keamanan sistem.

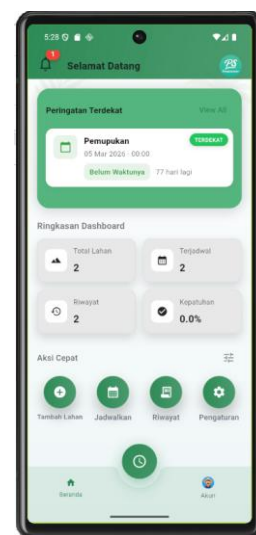
4.3. Implementasi sistem

Bagian ini menampilkan hasil implementasi antarmuka sistem yang telah dikembangkan menggunakan Flutter.



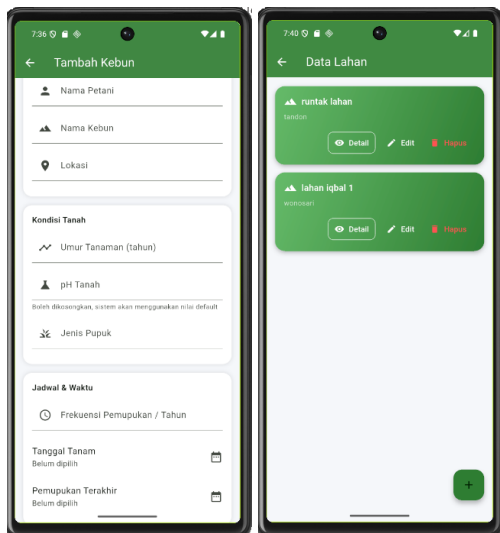
Gambar 4. Tampilan Login dan Sign Up

Gambar 4 menampilkan halaman login dan registrasi sebagai akses awal ke aplikasi, di mana pengguna dapat masuk menggunakan akun terdaftar atau membuat akun baru. Fitur autentikasi ini diterapkan untuk menjaga keamanan data dan memastikan setiap aktivitas pemupukan tercatat berdasarkan identitas pengguna yang sah.



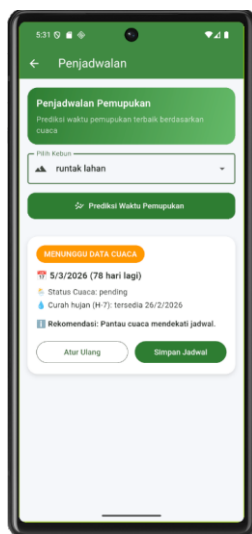
Gambar 5. Halaman Beranda User

Gambar 5 menunjukkan halaman beranda pengguna sebagai pusat navigasi utama aplikasi, yang menyediakan akses ke pengelolaan data lahan, penjadwalan pemupukan, dan riwayat pemupukan. Antarmuka dirancang secara sederhana dan informatif untuk memudahkan pengguna memahami alur penggunaan aplikasi.



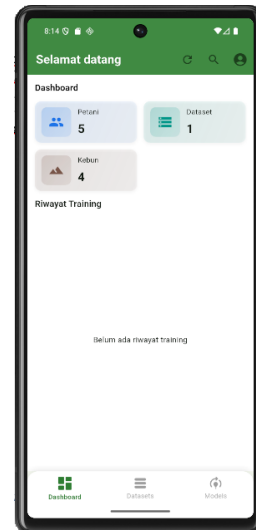
Gambar 6. Halaman Form Input dan List Data Lahan

Gambar 6 menampilkan halaman form input dan daftar data lahan, di mana pengguna dapat menambahkan serta memilih lahan yang digunakan untuk penjadwalan dan prediksi. Data lahan yang diinput berperan sebagai parameter utama dalam analisis dan penentuan waktu pemupukan berikutnya.



Gambar 7. Halaman Prediksi Jadwal

Gambar 7 menampilkan hasil prediksi jadwal pemupukan yang dihasilkan sistem berdasarkan pengolahan data lahan. Informasi yang disajikan mencakup waktu pemupukan beserta keterangan pendukung kondisi lahan, sehingga membantu pengguna menentukan waktu pemupukan secara lebih tepat.



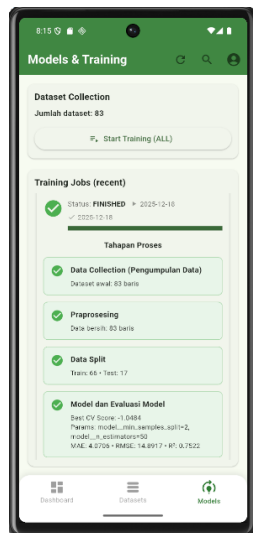
Gambar 8. Halaman Dashboard Admin

Gambar 8 menunjukkan halaman *dashboard* admin yang berfungsi untuk memantau data jumlah petani, jumlah lahan, dan aktivitas riwayat *training* model. *Dashboard* ini mendukung proses pengawasan dan pengelolaan agar sistem tetap berjalan sesuai kebutuhan pengguna.



Gambar 9. Halaman Import Dataset

Gambar 9 menampilkan halaman impor *dataset* yang digunakan admin untuk memasukkan data pelatihan model *machine learning*. *Dataset* tersebut menjadi dasar pembelajaran model *Random Forest Regression*, sehingga kualitas dan kelengkapan data berpengaruh langsung terhadap akurasi prediksi sistem.



Gambar 10. Halaman Model dan Training

Gambar 10 memperlihatkan antarmuka pelatihan model *Random Forest Regression* yang dijalankan oleh admin menggunakan *dataset* yang telah dimasukkan ke dalam sistem, dengan tujuan menghasilkan pola prediksi waktu pemupukan yang

andal. Hasil evaluasi kinerja model menunjukkan nilai *Mean Absolute Error (MAE)* sebesar 4,07 hari, yang menandakan bahwa perbedaan rata-rata antara hasil prediksi dan waktu pemupukan aktual tergolong rendah, sedangkan nilai *Root Mean Squared Error (RMSE)* sebesar 14,89 hari mengindikasikan adanya sejumlah kesalahan prediksi dengan tingkat deviasi yang lebih besar akibat pengaruh variasi kondisi lingkungan. Nilai *R² Score* sebesar 0,75 menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 75% variasi data penjadwalan pemupukan, sehingga dapat disimpulkan bahwa model memiliki performa yang baik dan layak diimplementasikan dalam sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit.

4.4. Pengujian Aplikasi (Black Box Testing)

Pengujian aplikasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem penjadwalan pemupukan kelapa sawit dapat berfungsi sesuai dengan rancangan dan kebutuhan pengguna. Metode yang digunakan adalah pengujian fungsional (*black box testing*), yaitu dengan mengevaluasi kesesuaian antara data masukan dan keluaran yang dihasilkan oleh sistem.

Table 1. Pengujian Black Box Testing Aplikasi Penjawalan Pemupukan

No	Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil yang diharapkan	Hasil Pengujian
1	Login Pengguna	Memasukkan username dan password valid	Pengguna berhasil masuk ke sistem	Berhasil
2	Login Pengguna	Username / password salah	Login gagal	Berhasil
3	Input Data Lahan	Pengguna memasukan data lahan	Data lahan berhasil di simpan	Berhasil
4	Penjadwalan	Pengguna Memilih lahan yang ingin di prediksi	Prediksi berhasil dan mengeluarkan Output Tanggal pemupukan dan Hari pemupukan berikutnya	Berhasil
5	Import Dataset	Admin Pilih Dataset yang digunakan	Dataset berhasil ter upload	Berhasil
6	Training	Admin melakukan Training dengan dataset yang ingin di gunakan	Proses training berjalan	Berhasil

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *Random Forest Regression* dalam aplikasi penjadwalan pemupukan kelapa sawit berbasis *mobile* mampu menghasilkan prediksi waktu pemupukan dengan tingkat akurasi yang baik, ditunjukkan oleh nilai *MAE* sebesar 4,07 hari, *RMSE* sebesar 14,89 hari, dan *R² Score* sebesar 0,75. Temuan ini mengindikasikan bahwa model dapat merepresentasikan sebagian besar variasi data penjadwalan pemupukan dengan mempertimbangkan variabel umur tanaman, pH tanah, riwayat pemupukan, frekuensi pemupukan, dan curah hujan. Integrasi model prediktif ke dalam aplikasi *mobile* yang dilengkapi fitur notifikasi terbukti mendukung pengambilan keputusan pemupukan yang lebih tepat dan berbasis data. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan memperluas jumlah serta keragaman *dataset*, menambahkan parameter lingkungan seperti

kelembapan tanah dan suhu, serta melakukan perbandingan dengan metode *machine learning* lain guna meningkatkan akurasi dan keandalan sistem secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. R. Tambunan, A. Junaedi, and H. Agusta, "Manajemen Pemupukan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Labuhanbatu, Sumatera Utara," *Buletin Agrohorti*, vol. 12, no. 1, pp. 80–88, 2024, doi: 10.29244/agrob.v12i1.51535.
- [2] F. Sinaga, D. Sopandie, and E. Santosa, "Pengelolaan Pemupukan Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kebun Aek Nabara, Sumatera Utara," *Buletin Agrohorti*, vol. 12, no. 3, pp. 366–374, 2024, doi: 10.29244/agrob.v12i3.51531.
- [3] R. O. Enesi and others, "Liming Remediate Soil Acidity and Improves Crop Yield and

- Profitability: A Meta-Analysis,” *Frontiers in Agronomy*, 2023, doi: 10.3389/fagro.2023.1194896.
- [4] K. D. Kanang, H. Mohidin, A. C. Petrus, M. C. W. Liuan, G. K. Joo, and L. Melling, “Effects of liming on the chemical properties of tropical peat soils: an incubation-based analysis,” *Arch Agron Soil Sci*, vol. 71, no. 1, pp. 1–20, 2025, doi: 10.1080/03650340.2025.2527094.
- [5] D. Riyani, E. Gusmayanti, and M. Pramulya, “Dampak Pemberian Pupuk Hayati dan NPK terhadap Emisi CO₂ pada Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut,” *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 19, no. 2, pp. 219–226, 2021, doi: 10.14710/jil.19.2.219-226.
- [6] Zilvina. B. D. A. P. Poja Ramandilla1, “DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP KUALITAS TANAH DAN PRODUKTIVITAS PERTANIAN DI PULAU JAWA,” Jun. 2025.
- [7] N. Nur, F. Wajidi, S. Sulfayanti, and W. Wildayani, “Implementasi Algoritma Random Forest Regression untuk Memprediksi Hasil Panen Padi di Desa Minanga,” *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 58–64, 2023, doi: 10.35143/jkt.v9i1.5917.
- [8] S. Narayanan, “Model dengan XGBoost dan Algoritma Random Forest Pendekatan Pembelajaran Mesin untuk Tanaman dan Pupuk Menggunakan Ensemble,” 2023.
- [9] X. J. Tan, W. L. Cheor, K. S. Yeo, and W. Z. Leow, “Expert Systems in Oil Palm Precision Agriculture: A Decade Systematic Review,” *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2022.02.006.
- [10] R. Almuklas, I. Ilyas, and H. Helmi, “Evaluasi Beberapa Sifat Kimia Tanah pada Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Kecamatan Lhoksukon Kabupaten Aceh Utara,” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 9, no. 2, 2024, [Online]. Available: <https://www.jim.usk.ac.id/JFP>
- [11] N. Nur, F. Wajidi, S. Sulfayanti, and W. Wildayani, “Implementasi Algoritma Random Forest Regression untuk Memprediksi Hasil Panen Padi di Desa Minanga,” *Jurnal Komputer Terapan*, vol. 9, no. 1, pp. 58–64, Jun. 2023, doi: 10.35143/jkt.v9i1.5917.
- [12] J. Deone, D. Khan, R. Afreen, and R. Mangrule, “Machine Learning Approaches for Crop Prediction and Fertilizer Recommendation based on Soil Nutrients,” 2024