

PROPOSAL TUGAS AKHIR



MODEL PREDIKSI HASIL PRODUKSI KELAPA SAWIT BERDASARKAN FAKTOR LINGKUNGAN DAN PERAWATAN MENGGUNAKAN METODE *LONG SHORT-TERM MEMORY* (Studi Kasus : PTPN IV REGIONAL 6 KSO)

Oleh:

MUHAMMAD RIVAL

NIM. 2021573010054

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI LHOKSEUMAWE
TAHUN 2024**

LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Model Prediksi Hasil Produksi Kelapa Sawit Berdasarkan Faktor Lingkungan Dan Perawatan Menggunakan Metode *Long Short-Term Memory* (Studi Kasus : PTPN IV REGIONAL 6 KSO)

Nama Mahasiswa : Muhammad Rival

NIM : 2021573010054

Program Studi : Teknik Informatika

Menyetujui:

Pembimbing I

Dr. Rahmad Hidayat, S.Kom., M.Cs
NIP 198304202012121003

Pembimbing II

Muhammad Reza Zulman, SST, M.Sc
NIP 1992205012022031005

Mengetahui
Ka. Prodi Teknik Informatika

M. Khadafi, S.T., M.T
NIP 197507182002121004

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
RINGKASAN	vi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 State of The Art.....	5
2.2 Kelapa Sawit	9
2.3 Machine Learning	10
2.4 Recurrent Neural Network (RNN).....	11
2.5 Long Short-Term Memory	11
2.6 <i>Progressive Web App (PWA)</i>	14
2.7 Prototyping.....	14
BAB III.....	17
METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Data dan Pengumpulan Data.....	17
3.2 Rancangan	19
3.3 Desain Model Prediksi	32
3.4 Arsitektur Umum Sistem Prediksi Hasil Produksi.....	33
3.5 Perancangan Antarmuka (User Interface).....	34
3.6 Teknik Pengujian	39
3.7 Hasil yang diharapkan.....	40
BAB IV	41
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41

4.1	Hasil Tampilan User Interface Prediksi Hasil Produksi Kelapa Sawit .	41
4.2	Implementasi Rancangan Metode	47
4.3	Hasil Pengujian	52
	JADWAL KEGIATAN PENELITIAN	54
	DAFTAR PUSTAKA	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Artificial Intelegend (AI) dan Machine Learning	11
Gambar 2. 2 Alur Proses LSTM	12
Gambar 2. 3 Alur proses Prototyping	15
Gambar 3. 1 Use Case Diagram.....	22
Gambar 3. 2 <i>Activity Diagram</i> Login.....	25
Gambar 3. 3 <i>Activity</i> Proses Prediksi Hasil Produksi	26
Gambar 3. 4 <i>Activity</i> Kelola Data Time Series	27
Gambar 3. 5 <i>Activity</i> Input Data Real-time	28
Gambar 3. 6 <i>Acitivity Diagram</i> Lihat Hasi Prediksi	29
Gambar 3. 7 <i>Acitivity Diagram</i> Mengunduh Laporan	30
Gambar 3. 8 <i>Class Diagram</i>	31
Gambar 3. 9 Desain Model Prediksi	32
Gambar 3. 10 Arsitektur Umum Sistem Prediksi Hasil Produksi.....	33
Gambar 3. 11 Interface Login	34
Gambar 3. 12 Interface Dashboard	35
Gambar 3. 13 Interface Data Karyawan.....	35
Gambar 3. 14 Interface Afdeling	36
Gambar 3. 15 Interface Dataset Sistem.....	36
Gambar 3. 16 Interface Curah Hujan	37
Gambar 3. 17 Interface Prediksi.....	37
Gambar 3. 18 Interface Arsip Prediksi.....	38
Gambar 3. 19 Interface Laporan	38
Gambar 4. 1 Halaman Login (Petugas Lapangan)	41
Gambar 4. 2 Halaman Beranda (Petugas Lapangan)	42
Gambar 4. 3 Halaman Login (Admin)	43
Gambar 4. 4 Halaman Dashboard (Admin)	44
Gambar 4. 5 Halaman Afdeling (Admin)	45
Gambar 4. 6 Halaman Dataset Sistem (Admin).....	45
Gambar 4. 7 Halaman Prediksi (Admin).....	46
Gambar 4. 8 Halaman Hasil Prediksi (Admin)	47
Gambar 4. 9 Hasil Cleaning Data	48
Gambar 4. 10 Hasil Normalisasi Menggunakan MinMax Scaller	49
Gambar 4. 11 Layer Model Yang digunakan.....	50
Gambar 4. 12 Literasi pada Pelatihan Model.....	51
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Data Aktual dan Data Prediksi.....	52
Gambar 4. 14 Hasil Evaluasi Model denga MAE, RMSE, dan R2 Score	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of The Art.....	6
Tabel 3. 1 Data Curah Hujan.....	17
Tabel 3. 2 Data Pemupukan	18
Tabel 3. 3 Data Hasil Produksi	19
Tabel 3. 4 Analisis Kebutuhan Data	20
Tabel 3. 5 Definisi Aktor	23
Tabel 3. 6 Definisi Use Case.....	23

RINGKASAN

Perkebunan Kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis dalam perekonomian Indonesia, termasuk di PTPN IV Regional 6 KSO. Namun, fluktuasi hasil produksi kelapa sawit sering kali menjadi tantangan, yang dikarenakan dipengaruhi oleh faktor lingkungan (seperti curah hujan), pemeliharaan tanaman (seperti pemupukan, chemis piringan pokok, dan menyiang gawangan). Ketidaktepatan dalam perencanaan dan pengelolaan akibat ketidakmampuan memprediksi hasil produksi secara akurat dapat berdampak pada efisiensi dan produktivitas perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem prediksi hasil produksi kelapa sawit menggunakan metode atau algoritma *Long Short-term Memory (LSTM)* yang diimplementasikan dalam sebuah aplikasi web. Metode yang digunakan mencakup pengumpulan data *time-series* terkait faktor lingkungan dan perawatan. Pengelolaan data untuk pelatihan model prediksi menggunakan algoritma *Long Short-term Memory (LSTM)*, serta pengujian performa model dengan metrik evaluasi seperti *Mean Absolute Error (MAE)* dan *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah tersedianya sebuah prediksi hasil produksi kelapa sawit berbasis web yang informatif dan responsive. Sistem ini diharapkan dapat memberikan manfaat strategis bagi PTPN IV Regional 6 KSO dalam meningkatkan produktivitas perkebunan secara keseluruhan.

Kata Kunci : *LSTM*, prediksi produksi, PTPN IV, sistem berbasis web, kelapa sawit.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan di Indonesia yang memiliki peran strategis dalam perekonomian nasional. Sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, Indonesia menyuplai lebih dari separuh kebutuhan minyak sawit dunia. Minyak sawit sendiri digunakan sebagai bahan baku utama dalam berbagai industry, mulai dari makanan, kosmetik, hingga bahan bakar nabati. Selain itu, hampir seluruh bagian tanaman kelapa sawit dapat dimanfaatkan, seperti buah yang diolah menjadi minyak sawit dan inti sawit, daun yang dapat digunakan untuk kompos, batang yang bisa menjadi bahan dasar produk kayu, hingga ampas yang menjadi sumber energi biomassa. Dengan perannya yang sangat signifikan, kelapa sawit menjadi salah satu sektor strategis yang mendukung perekonomian negara, baik melalui ekspor maupun pemenuhan kebutuhan domestik [1].

Meskipun industri kelapa sawit memberikan kontribusi besar bagi ekonomi, pengelolaanya di tingkat perkebunan sering kali belum optimal. Banyak perkebunan, baik skala kecil maupun besar masih mengandalkan metode manual atau pendekatan berbasis pengalaman untuk mengelola produksi dan memprediksi hasil panen, termasuk juga pada perkebunan kelapa sawit PTPN IV yang pengelolaan datanya masih menggunakan software *Microsoft excel*. Pendekatan ini terkadang memunculkan kemungkinan kesalahan dalam penginputan yang dilakukan operator yang tidak sinkron dengan data yang diberikan petugas lapangan. Hal ini menyebabkan hasil produksi tidak sesuai dengan target yang diharapkan, sehingga menimbulkan resiko kerugian bagi perusahaan maupun petani.

Dalam konteks ini, pengelolaan hasil produksi kelapa sawit memerlukan pendekatan berbasis teknologi dan pendekatan berbasis data untuk membantu memprediksi hasil produksi kelapa sawit secara lebih akurat dan efisien. Dengan memanfaatkan teknologi modern seperti *Deep Learning*, pengelola perkebunan

dapat mengidentifikasi pola-pola kompleks dari berbagai faktor yang memengaruhi hasil panen atau produksi. Salah satu metode yang saat ini yang banyak digunakan untuk menganalisis data serial waktu (time series data) adalah *Long Short-Term Memory (LSTM)*, yang merupakan salah satu modifikasi dari *Recurrent Neural Network (RNN)*. *LSTM* dirancang khusus untuk menangani masalah data yang memiliki ketergantungan jangka panjang, sehingga cocok untuk memodelkan fluktasi hasil produksi kelapa sawit yang dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan perawatan. *Long Short-Term Memory (LSTM)* memiliki keunggulan dalam mempelajari pola data yang tidak hanya bergantung pada nilai sebelumnya tetapi juga mempertimbangkan hubungan jangka Panjang antara variable. Dengan demikian, model ini dapat memgberikan prediksi yang lebih akurat dibandingkan dengan metode tradisional atau algoritma berbasis pohon keputusan. Penggunaan model ini memungkinkan perusahaan PTPN IV REGIONAL 6 KSO untuk membuat perencanaan yang lebih strategis dan terukur dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi hasil produksi kelapa sawit menggunakan metode *Long Short-Term Memory (LSTM)*. Dengan memanfaatkan Data Time Series terkait faktor-faktor lingkungan dan manajemen perawatan tanaman, model *LSTM* diharapkan mampu memberikan prediksi yang akurat tentang hasil panen atau produksi.

Meskipun prediksi tidak selalu memberikan jawaban yang jelas tentang apa yang akan terjadi, prediksi bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sedekat mungkin dengan apa yang akan terjadi. Prediksi yang akurat dapat membantu perusahaan menetapkan target produksi untuk periode yang akan datang [2].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengidentifikasi faktor-faktor lingkungan (seperti curah hujan) dan perawatan tanaman (seperti pemupukan) yang paling memengaruhi hasil produksi kelapa sawit?

2. Bagaimana sistem mengatasi ketidakstabilan dan ketidaktepatan hasil produksi yang disebabkan oleh penginputan data yang masih dilakukan secara manual?
3. Bagaimana hasil dari model prediksi ini dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan perkebunan kelapa sawit dan meminimalkan risiko kerugian akibat ketidakpastian hasil produksi?

1.3 Batasan Masalah

Mengingat banyaknya pembahasan yang ada dalam penelitian ini, maka perlu batasan yang jelas mengenai hal-hal yang dibuat dan diselesaikan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini hanya fokus pada prediksi hasil produksi kelapa sawit, tidak mencakup analisis finansial atau dampak ekonominya secara langsung.
2. Data yang digunakan terbatas pada faktor-faktor lingkungan (seperti curah hujan) dan perawatan tanaman (seperti pemupukan). Faktor lain seperti kondisi pasar, infrastruktur, atau kebijakan pemerintah tidak dianalisis.
3. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Long Short-Term Memory*, tanpa membandingkan performanya dengan algoritma prediksi lain.
4. Data yang dianalisis adalah Data Time Series dari wilayah unit Kebun Lama Afdeling IV tertentu, sehingga hasil penelitian mungkin tidak sepenuhnya dapat digeneralisasikan untuk wilayah atau unit lain dengan kondisi yang berbeda.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Membangun aplikasi model prediksi berbasis website yang memungkinkan operator dapat melakukan pengelolaan data produksi perkebunan sawit PTPN IV Regional VI KSO dalam mengakses model prediksi, melakukan

penginputan data secara real-time dan melakukan proses prediksi serta melihat hasil prediksi produksi kelapa sawit berdasarkan faktor-faktor yang diinputkan.

2. Menyediakan informasi yang bermanfaat bagi pengelola perkebunan kelapa sawit untuk meningkatkan efisiensi produksi melalui model prediksi berbasis website, mendukung perencanaan panen yang lebih baik dan pengelolaan sumber daya secara optimal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu pengelolaan perkebunan kelapa sawit di PTPN IV untuk memprediksi hasil produksi dengan lebih akurat berdasarkan data lingkungan, perawatan tanaman, dan produksi.
2. Mempermudah pengelolaan sumber daya perkebunan melalui pengambilan keputusan yang lebih tepat, seperti optimalisasi jadwal pemupukan dan estimasi panen.
3. Menghasilkan aplikasi prediksi hasil produksi berbasis website yang dapat diakses dengan mudah oleh operator untuk melakukan penginputan data, melakukan proses prediksi serta melihat hasil prediksi dan analisis data secara real-time dan petugas lapangan untuk melakukan penginputan data secara real-time dan melihat hasil prediksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 State of The Art

State of The Art merupakan kumpulan jurnal yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian. *State of The Art* turut memberikan penjabaran mengenai perbedaan antara penelitian terdahulu dan penelitian yang akan dilakukan [3]. *State of The Art* adalah perengkuhan hasil tertinggi dan maksimal dari sebuah pengembangan terbentuk alat, produk, metode, media, aktivitas yang direngkuh pada waktu tertentu sebagai sebuah dari implementasi metodologi yang telah ada pada zamannya.

Tabel 2. 1 State of The Art

No	Penulis /Tahun	Judul Artikel	Metode yang digunakan	Hasil yang diperoleh	Persamaan	Perbedaan
1	Budi Yanto, Erni Rouza , Edi Saputra / 2019	Penerapan Metode Inferensi Fuzzy Takagi Sugeno-Kang Untuk Prediksi Hasil Panen Kelapa Sawit	Inferensi Fuzzy Takagi Sugeno-Kang	Mengetahui hasil panen berikutnya pada petani kelapa sawit dengan perhitungan Fuzzy Takagi Sugeno Kang (TSK).	Menekankan penggunaan metode atau algoritma canggih untuk analisis data, guna menghasilkan prediksi akurat dalam sektor perkebunan kelapa sawit.	Penelitian [1] menggunakan inferensi Fuzzy Takagi Sugeno-Kang untuk menangani ketidakpastian dengan logika fuzzy, sedangkan penelitian pada tugas akhir ini memakai algoritma <i>Long Short-Term Memory (LSTM)</i> untuk klasifikasi dan pemilahan data.
2	Irma Hakim, Asdi, Teuku Afriliansya	Implementasi Algoritma Komputasi Linear Regression untuk Optimasi Prediksi HasilPertanian	Metode <i>Linear Regression</i>	Penggunaan metode <i>Linear Regression</i> yang berhasil menunjukkan akurasi tinggi dengan evaluasi menggunakan MSE dan R ² .	Meningkatkan akurasi prediksi hasil produksi atau panen berdasarkan Data Time Series.	Menggunakan algoritma Linear Regression.

3	Niken Putri Setyadi	Penerapan Data Mining Untuk Prediksi Hasil Produksi Karet Menggunakan Algoritma Decision Tree C4.5	Decision Tree C4.5	Produksi yang tercapai sebanyak 709 dan produksi yang tidak tercapai sebanyak 192.	Menggunakan variabel lingkungan dan manajemen/perawatan sebagai faktor utama dalam memprediksi hasil produksi.	Menggunakan Metode Decision Tree C4.5
4	Yesi Pitaloka Anggriani, AlfisArif, Febriansyah	Implementasi Algoritma K-Means Clustering dalam Menentukan Blok Tanaman Sawit Produktif Pada Pt Arta Prigel	K-Means Clustering	Proses clustering data dalam menentukan blok produktif terbentuk menjadi 3 cluster yaitu cluster_0 dengan keterangan Cukup Produktif, cluster_1 dengan keterangan Produktif, dan cluster_2 dengan keterangan Tidak Produktif.	Berfokus pada tanaman kelapa sawit sebagai komoditas utama.	Penelitian [8] menggunakan algoritma <i>K-Means Clustering</i> . Sedangkan penelitian tugas akhir menggunakan algoritma <i>Long Short-Term Memory (LSTM)</i>
5	Syukri Habibi Nasution, Chairani Hanum, Jasmani Ginting	Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (<i>Elaeis Guineensis Jacq.</i>) Pada Berbagai Perbandingan Media Tanam Solid Decanter Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Pada Sistem Single Stage	Rancangan Acak Kelompok Nonfaktorial (RAK Nonfaktorial)	Perlakuan media tanam berpengaruh nyata terhadap semua peubah amatan kecuali tinggi babit 6, 8, dan 10 MST.	Memiliki hubungan dengan aspek lingkungan, baik dari segi penggunaan material sisa kelapa sawit (penelitian[4]) maupun faktor lingkungan yang memengaruhi hasil produksi (penelitian tugas akhir).	Penelitian [4] Fokus pada pengaruh perbandingan media tanam (solid decanter dan tandan kosong kelapa sawit) terhadap pertumbuhan bibit kelapa sawit. Sedangkan penelitian tugas akhir Fokus pada memprediksi hasil produksi kelapa sawit berdasarkan faktor lingkungan dan perawatan.

6	Masykur	Pengembangan Industri Kelapa Sawit Sebagai Penghasil Energi Bahan Bakar Alternatif dan Mengurangi Pemanasan Global	Metode deskripsi dengan pendekatan komprehensif integral.	-	Berfokus pada kelapa sawit sebagai elemen utama penelitian.	Penelitian [3] Lebih menekankan potensi kelapa sawit sebagai bahan energi alternatif untuk mengurangi pemanasan global. Sedangkan penelitian tugas akhir Menitik beratkan pada analisis prediktif hasil produksi kelapa sawit berdasarkan faktor lingkungan dan perawatan.
---	---------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	---	-------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Kelapa Sawit

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tumbuhan tropis golongan plasma yang termasuk tanaman tahunan. Tanaman Kelapa Sawit berasal dari Negara Afrika Barat. Tanaman ini dapat tumbuh subur di Indonesia, Malaysia, Thailand, Dan Papua Nugini. Kelapa Sawit merupakan tanaman yang sangat penting bagi pembangunan nasional perkebunan kelapa sawit dapat menyerap lapangan tenaga kerja yang lebih besar dan sebagai sumber devisa negara. Tanaman ini mulai diusahakan dan dibudidayakan secara komersial pada tahun 1991. orang yang pertama kali merintis usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah Andrian Hallet seorang yang berkebangsaan Belgia yang mana telah belajar banyak tentang perkebunan kelapa sawit di Afrika (Fauzi, 2009:5)[3].

Produk minyak kelapa sawit sebagai bahan makanan memiliki dua aspek kualitas. Aspek pertama berkaitan dengan kadar dan kualitas asam lemak, kelembaban, serta kadar kotoran. Aspek kedua berkaitan dengan rasa, aroma, kejernihan, dan kemurnian produk. Minyak kelapa sawit berasal dari buah tanaman kelapa sawit, di mana satu tandan bisa memiliki berat sekitar 40–50 kg. Seratus kilogram buah kelapa sawit dapat menghasilkan sekitar 20 kg minyak. Satu hektar kelapa sawit mampu menghasilkan 5.000 kg minyak mentah atau hampir 6.000 liter minyak mentah (Journey to Forever, 2010)[3].

Kelapa sawit merupakan komoditas andalan Indonesia yang perkembangannya sangat pesat. Secara umum, limbah dari pabrik kelapa sawit terdiri atas tiga jenis, yaitu limbah cair, padat, dan gas. Limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan meliputi tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang atau tempurung, serabut atau serat, sludge atau lumpur sawit, dan bungkil[4].

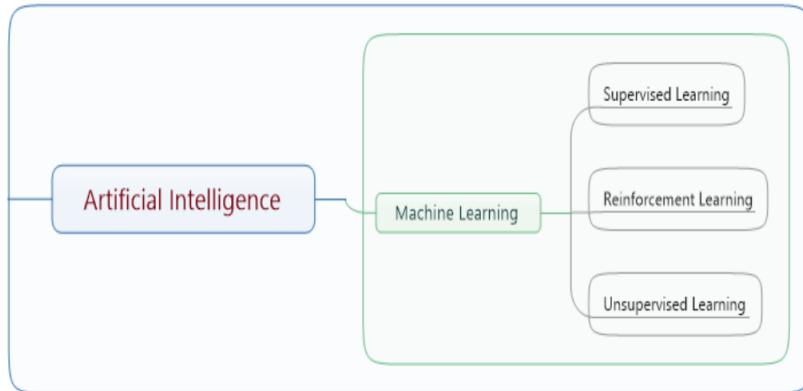
Permintaan pupuk organik yang semakin pesat merupakan salah satu peluang pemanfaatan TKKS menjadi pupuk kompos secara ekonomis. TKKS, melalui proses dekomposisi, dapat diolah menjadi pupuk yang kaya unsur hara seperti N, P, K, dan Mg sesuai kebutuhan tanaman. Pengolahan TKKS segar menjadi kompos pada dasarnya memiliki sifat ganda, yaitu sebagai solusi untuk limbah

cair dan limbah padat TKKS, serta memberikan manfaat ekonomis sebagai pemasok bahan organik bagi tanaman[4].

Solid merupakan salah satu limbah padat dari hasil pengolahan minyak sawit kasar. Di sumatera, limbah ini dikenal sebagai lumpur sawit, namun solid biasanya sudah dipisahkan dengan cairannya sehingga merupakan limbah padat. Ada dua macam limbah yang dihasilkan pada produksi CPO, yaitu limbah padat dan limbah cair[5]. Sejauh ini solid sawit masih belum dimanfaatkan oleh pabrik, tetapi hanya dibuang begitu saja sehingga dapat mencemari lingkungan. Pihak pabrik memerlukan dana yang relatif besar untuk membuang limbah tersebut, yaitu dengan membuatkan lubang besar. Tentunya akan sangat menguntungkan bagi pihak pabrik apabila solid sawit dapat dimanfaatkan secaraluas[5].

2.3 Machine Learning

Machine learning dapat didefinisikan sebagai aplikasi komputer dan algoritma matematika yang diadopsi dengan cara pembelajaran yang berasal dari data dan menghasilkan prediksi di masa yang akan datang (Goldberg & Holland, 1988). Adapun proses pembelajaran yang dimaksud adalah suatu usaha dalam memperoleh kecerdasan yang melalui dua tahap antara lain latihan (training) dan pengujian (testing) (Huang, Zhu, & Siew, 2006). Bidang machine learning berkaitan dengan pertanyaan tentang bagaimana membangun program komputer agar meningkat secara otomatis dengan berdasar dari pengalaman (Mitchell, 1997). Penelitian terkini mengungkapkan bahwa machine learning terbagi menjadi tiga kategori: Supervised Learning, Unsupervised Learning, Reinforcement Learning (Somvanshi & Chavan, 2016). Skema keterkaitan artificial intelligence dan machine learning dapat dijelaskan dalam Gambar 1 [6].



Gambar 2. 1 Skema Artificial Intelegend (AI) dan Machine Learning

2.4 Recurrent Neural Network (RNN)

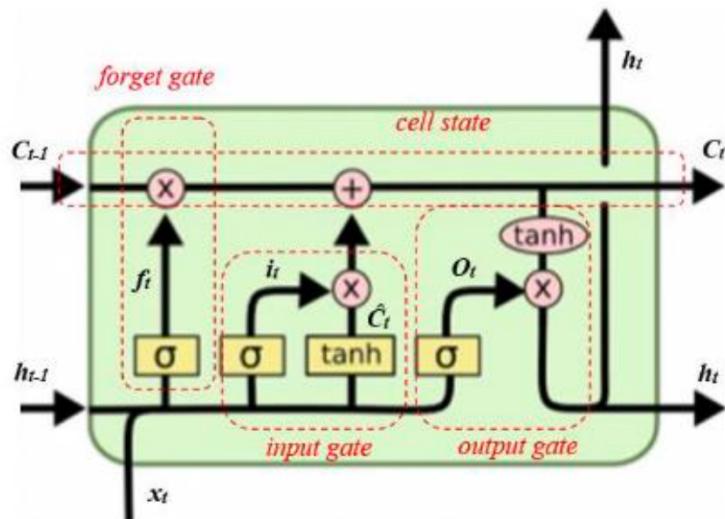
RNN (Recurrent Neural Network) adalah salah satu jenis arsitektur ANN yang digunakan untuk memproses data urutan atau rangkaian, seperti teks, audio, atau data waktu. RNN memiliki kemampuan untuk mengingat informasi dari waktu sebelumnya dan menggunakan informasi itu untuk menghasilkan output pada waktu saat ini (Smagulova & James, 2019).

RNN adalah proses yang mengolah input dan memprosesnya dengan berbagai informasi yang sudah pernah diperoleh sebelumnya. Penentuan keputusan atau hasil yang diberikan dari sebuah input tertentu akan dipengaruhi dengan sistem informasi yang sudah pernah ada. Pada akhirnya, cara kerja RNN kemudian disempurnakan oleh berbagai bentuk modifikasi dari sistem ini, misalnya metode LSTM (*Long Short-term Memory*) (RNN (Recurrent Neural Network): Cara Kerja Dan Implementasi - Algoritma, n.d.).

2.5 Long Short-Term Memory

LSTM (*Long Short-term Memory*) merupakan varian dari unit Recurrent Neural Network (RNN). LSTM sangat cocok untuk mengklasifikasi, memproses, dan membuat prediksi berdasarkan data *time series* karena mungkin ada kelangkaan durasi yang tidak diketahui di antara peristiwa penting dalam rangkaian waktu [9]. Metode LSTM memiliki arsitektur yang hampir mirip dengan metode RNN, yang membedakan adalah proses *hidden state*. Proses

hidden state pada LSTM melalui 4 *gate* yaitu *forget gate*, *input gate*, *cell state* dan *output gate* [10].



Gambar 2. 2 Alur Proses LSTM

Tiap *gate* menggunakan nilai masukan X_t dan nilai *hidden state* pada *timestep* sebelumnya h_{t-1} dengan nilai bobot dan bias yang telah ditentukan diawal. *Forget gate* adalah *gate* pertama yang dialau oleh masukan yang menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid*. Nilai *forget gate* diperoleh menggunakan persamaan (1).

$$f_t = \sigma (W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (1)$$

Dimana f_t adalah forget gate, σ adalah fungsi aktivasi sigmoid, W_f adalah bobot pada forget gate, h_{t-1} adalah nilai hidden state pada timestep sebelumnya, X_t adalah masukan, dan b_f adalah nilai bias pada forget gate.

Proses kedua pada hidden state adalah menghitung nilai input gate. Sama seperti nilai masukan (X_t), bobot (W_i), bias (B_i), dan nilai pada *hidden state* sebelumnya h_{t-1} . *Input gate* diperoleh menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid* (σ) seperti pada persamaan (2).

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (2)$$

Pada *input gate* masih terdapat satu proses, yaitu menghitung nilai kandidat *cell state* baru. Nilai kandidat *cell state* baru C_t diperoleh menggunakan fungsi aktivasi *tanh* seperti terlihat pada persamaan (3).

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c \cdot [s_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (3)$$

Setelah didapatkan nilai *forget gate*, *input gate*, dan kandidat *cell state* baru, maka nilai, *cell state* C_t dapat dicari dengan menjumlahkan hasil perkalian *forget gate* f_t dan *cell state* sebelumnya C_{t-1} dengan hasil perkalian *input gate* i_t dengan kandidat *cell state* baru \tilde{C}_t menggunakan persamaan (4).

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \quad (4)$$

Proses selanjutnya yaitu pada *output gate* yang menggunakan fungsi aktivasi *sigmoid*. Nilai *output gate* digunakan untuk menghasilkan nilai *hidden state* baru Bersama dengan nilai *cell state*. *Output gate* diperoleh menggunakan persamaan (5).

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

Nilai *output gate* yang didapatkan akan digunakan sebagai keluaran *hidden state* menggunakan fungsi *tanh*. Nilai *hidden state* diperoleh dengan mengalikan nilai *output gate* dan *cell state* yang telah melalui proses fungsi *tanh*, seperti terlihat pada persamaan (6).

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

2.6 Progressive Web App (PWA)

Progressive *Web Apps* (PWA) adalah sebuah teknologi baru yang dirancang dan dikembangkan oleh Google pada Juni 2015 untuk mengatasi keterbatasan *browser* seluler dan aplikasi *native*. *Progressive Web App* menggunakan kemampuan web modern yang menggambarkan koleksi teknologi, konsep desain, dan API web yang bekerja bersama-sama untuk menghadirkan pengalaman pengguna seperti aplikasi *native* [11].

Dengan membangun aplikasi menggunakan konsep PWA akan membuat aplikasi web berjalan di berbagai *platform* seperti *website*, *desktop*, dan *platform mobile* atau Android, PWA sendiri memiliki berbagai keunggulan seperti:

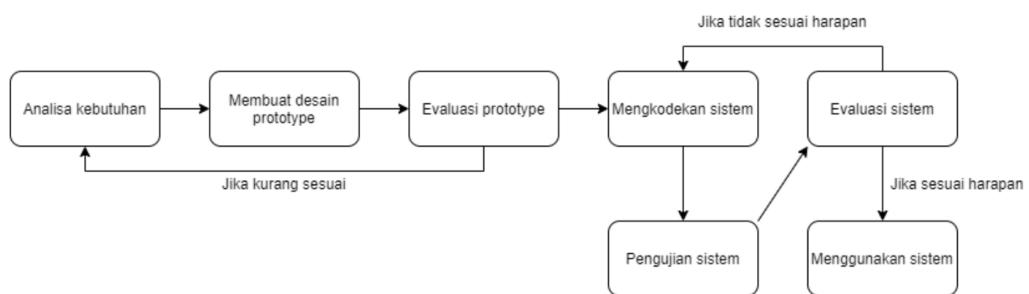
1. PWA memiliki sifat aplikasi *native* layaknya Android, tetapi tidak memerlukan spesifikasi *hardware* yang tinggi dalam membuatnya.
2. PWA dapat mempercepat proses pembuatan *website* dan mengurangi beban *server*.
3. PWA dapat berfungsi secara *offline*, tidak seperti *website* yang tidak dapat diakses jika tidak ada koneksi internet.
4. PWA sudah banyak digunakan di perusahaan besar seperti Twiter, Facebook, Bukalapak, Tokopedia, dan sebagainya.

Proses instalasi PWA sangat mudah, hanya dengan mengakses website PWA yang diinginkan kemudian memilih opsi install, maka icon aplikasi PWA akan muncul di home screen [12].

2.7 Prototyping

Prototyping merupakan teknik pengembangan sistem yang banyak digunakan dan teknik ini juga memberikan fasilitas pengembangan dan pemakai untuk saling berinteraksi selama proses pembuatan, sehingga pengembangan dapat dengan mudah memodelkan perangkat lunak yang akan dibuat [13].

Metode ini bertujuan untuk mengembangkan model menjadi perangkat lunak yang final. Artinya sistem akan dikembangkan lebih cepat dan biaya yang dikeluarkan lebih rendah. Metode prototype ini memiliki tahap-tahap yang harus dilakukan dalam pengembangan perangkat lunak.



Gambar 2. 3 Alur proses Prototyping

Berikut adalah tahap-tahap pengembangan perangkat lunak menggunakan metode prototype.

- Analisa kebutuhan

Pada tahap ini pengembangan melakukan identifikasi perangkat lunak dan semua kebutuhan sistem yang akan dibuat.

- Membuat prototype

Membuat rancangan sementara yang berfokus pada laur program kepada pengguna.

- Evaluasi prototype

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui apakah model prototype sudah sesuai dengan harapan.

- Mengkodekan sistem

Jika prototype disetujui maka akan diterjemahkan ke dalam Bahasa pemrograman yang sesuai.

- Pengujian sistem

Setelah perangkat lunak sudah siap, perangkat lunak harus melewati pengujian. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan *White Box Testing*, *Black Box Testing*, dan lain-lain.

- Evaluasi sistem

Pengguna melakukan evaluasi apakah perangka lunak sudah sesuai dengan napa yang diharapkan atau tidak. Jika ya, lakukan tahap selanjutnya. Jika tidak, ulangi tahap mengkodekan sistem dan pengujian sistem dan pengujian sistem.

- Menggunakan sistem

Perangkan lunak yang telah diuji dan disetujui siap untuk digunakan [14].

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Data dan Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mendapatkan data dari perusahaan PTPN IV Regional 6 KSO dengan jumlah ... data, 80% dari ... tersebut digunakan untuk data latih dan 20% digunakan untuk data uji. Selanjutnya data juga didapatkan dengan melakukan observasi langsung di lapangan serta wawancara dengan pengelola kebun kelapa sawit untuk memahami praktik manajemen dan kondisi aktual di lapangan. Agar pengumpulan data didapat secara komprehensif dan relevan yang mencakup beberapa kategori utama:

Data referensi tentang hasil produksi kelapa sawit yang disebabkan oleh faktor lingkungan dan perawatan dari situs Referensi menganai metode *Long Short-term Memory (LSTM)* dalam melakukan klasifikasi data yang diperoleh dari studi pustaka melalui situs goolge scholar.

1. Faktor Lingkungan

Data yang digunakan pada faktor lingkungan yaitu data curah hujan. Data diambil melalui website *Google Eart Engine* dengan melakukan sedikit konfigurasi coding untuk mengambil data curah hujan yang berada daerah Aceh Tamiang. Contoh data curah hujan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Data Curah Hujan

Waktu	Curah Hujan
Jan 1, 2024	0
Jan 2, 2024	0
Jan 3, 2024	4.864
Jan 4, 2024	4.864
Jan 5, 2024	9.728
Jan 6, 2024	15.702
Jan 7, 2024	15.702
Jan 8, 2024	5.234

2. Faktor Perawatan

Data yang digunakan pada faktor perawatan yaitu data pemupukan. Contoh data pemupukan yang diambil langsung dari perusahaan PTPN IV Regional 6 (KSO) dengan parameter yang akan digunakan adalah tahun tanam, no blok, luas lahan (Ha), jumlah pokok, dosis pupuk, dan volume (Kg). Contoh data dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Data Pemupukan

Tahun Tana m	No Blok	Luas (Ha)	POKOK	Rencana Di Pupuk NPK 13.6.27.4									
				Luas (Ha)			Jumlah Pokok			Dosis Kg/Pk k	Volume (Kg)		
				Manual	Spreader	Jumlah	Manual	Spreader	Total		Manual	Spreader	Total
2015	8A	4.5	604	-	4.5	4.5	-	604	604	2.75	-	1,661	1,661
	8B	4.9	615	4.9	-	4.9	615	-	615	2.75	1,691	-	1,691
	9A	7.1	912	7.1	-	7.1	912	-	912	2.75	2,508	-	2,508
	9B	15.2	2,056	15.2	-	15.2	2,056	-	2,056	2.75	5,654	-	5,654
	10A	10.7	1,224	10.7	-	10.7	1,224	-	1,224	2.75	3,366	-	3,366
	10B	15.1	2,158	15.1	-	15.1	2,158	-	2,158	2.25	4,856	-	4,856
	11A	12.5	1,626	12.5	-	12.5	1,626	-	1,626	2.75	4,472	-	4,472
	11B	15.1	2,160	-	15.1	15.1	-	2,160	2,160	2.25	-	4,860	4,860
	12A	12.5	1,692	12.5	-	12.5	1,692	-	1,692	2.75	4,653	-	4,653
	12B	10.2	1,299	-	10.2	10.2	-	1,299	1,299	2.25	-	2,923	2,923
Jumlah TT 2015		107.8	14,346	78.0	29.8	107.8	10,283	4,063	14,346	2.55	27,200	9,444	36,644

Pada Tabel 3.2 menunjukkan data pemupukan, yang dimana pemupukan dilakukan pada tiap-tiap blok dengan waktu pelaksanaanya 3 bulan sekali. Pada penelitian ini parameter atau atribut yang digunakan terdiri dari luas, jumlah pokok, dosis, dan volume.

3. Hasil Produksi

Data Hasil Produksi merupakan data utama yang digunakan dalam memprediksi hasil produksi nantinya. Contoh data Hasil Produksi yang diambil

langsung dari perusahaan PTPN IV Regional 6 (KSO) dengan parameter yang akan digunakan adalah dapat dilihat pada Tabel 3.4

Tabel 3. 3 Data Hasil Produksi

TGL	AFD.I			AFD.II			AFD.III			AFD.IV		
	Prod	BRD	%	Prod	BRD	%	Prod	BRD	%	Prod	BRD	%
1	24.540	1.820	7,42	49.540	1.150	2,32	63.740	1.990	3,12	22.160	-	-
2	25.670	1.220	4,75	47.180	990	2,10	48.930	1.950	3,99	16.670	1.320	7,92
3	28.620	1.760	6,15	50.730	1.290	2,54	41.130	1.090	2,65	20.600	-	-
4	19.400	2.580	13,30	49.870	940	1,88	50.430	1.740	3,45	32.220	1.260	3,91
5	34.570	-	-	67.490	-	-	63.540	-	-	27.480	-	-
6	41.470	3.250	7,84	61.010	4.110	6,74	54.230	3.300	6,09	32.280	1.840	5,70
7	33.440	700	2,09	66.390	1.320	1,99	59.620	2.090	3,51	35.640	-	-
8	36.390	-	-	67.270	-	-	59.790	-	-	26.690	-	-
9	23.160	3.860	16,67	60.890	2.190	3,60	46.010	3.410	7,41	22.250	1.690	7,60
10	24.240	1.280	5,28	46.650	1.730	3,71	31.360	740	2,36	17.800	-	-
11	25.870	820	3,17	54.870	1.350	2,46	53.820	1.370	2,55	24.220	-	-
12	33.720	1.760	5,22	52.730	2.060	3,91	46.110	1.090	2,36	32.620	1.740	5,33
13	27.440	740	2,70	55.650	1.520	2,73	39.850	1.180	2,96	22.690	-	-
14	25.580	750	2,93	41.440	1.090	2,63	49.950	1.270	2,54	25.860	-	-
15	25.480	770	3,02	50.420	1.460	2,90	49.070	1.160	2,36	26.380	1.960	7,43
JUMLAH	429.590	21.310	4,96	822.130	21.200	2,58	757.580	22.380	2,95	385.560	9.810	2,54

Pada Tabel 3.3 menunjukkan data hasil produksi, yang dimana data tersebut merupakan data produksi harian, yang mencakup atribut prod (produksi) dan BRD (brondolan). Pada penelitian ini, parameter atau atribut data yang digunakan hanya atribut data produksi.

3.2 Rancangan

Teknik yang digunakan dalam Perancangan sistem ini adalah Unified Modeling Language (UML), sebagai metode pemodelan untuk memvisualisasikan perancangan sistem. UML digunakan untuk menggambarkan interaksi antara pengguna dan aplikasi dengan menggunakan 2 jenis diagram yaitu Use Case Diagram dan Activity Diagram.

3.2.1 Analisis Kebutuhan Data

Analisis kebutuhan data adalah proses untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memvalidasi kebutuhan data yang digunakan oleh sebuah aplikasi. Berikut ini

adalah hal-hal yang harus diperhatikan untuk memenuhi kebutuhan data dari sistem ini:

Tabel 3. 4 Analisis Kebutuhan Data

No	Jenis Data	Deskripsi
1	Data Pengguna	Informasi tentang akun pengguna seperti username, password, dan peran.
2	Dataset Historis	Gabungan data lingkungan, perawatan, dan hasil produksi historis.
3	Data Real-time	Data mencakup faktor lingkunga, perawatan, dan hasil produksi yang telah dikumpulkan setelah analisis waktunya.
4	Hasil Prediksi	Output model prediksi yang berupa estimasi jumlah produksi berdasarkan inputan Data Time Series.
5	Laporan Produksi	File yang berisi hasil prediksi dalam bentuk tabel, grafik, atau angka.

3.2.2 Analisis Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah kebutuhan yang berdasarkan proses yang mampu disediakan oleh sistem dan mencangkup kebutuhan dasar pengguna tersebut berupa fitur, layanan dan fungsi. Sedangkan kebutuhan non fungsional merupakan sekumpulan batasan, karakteristik, dan properti pada sistem, baik dalam pengembangan maupun operasional. Berikut adalah kebutuhan fungsional yang akan diterapkan pada sistem ini:

a. User

User terbagi menjadi 3 bagian yaitu asisten kepala, admin, dan petugas lapangan:

a). Asisten Kepala

4. Asisten Kepala dapat melakukan login menggunakan akun yang sudah terdaftar.
 5. Asisten Kepala dapat melihat hasil prediksi
 6. Asisten Kepala dapat mengunduh laporan.
- b). Admin
1. Admin bisa melakukan login dengan akun yang sudah terdaftar.
 2. Admin dapat menambah, mengubah, dan menghapus Data Time Series, termasuk data terkait faktor lingkungan dan perawatan.
 3. Admin bisa menambah, mengubah, dan menghapus data pengguna.
 4. Admin dapat menginput Data Time Series
 5. Admin dapat menjalankan atau memproses prediksi hasil produksi berdasarkan Data Time Series.
 6. Admin dapat melihat prediksi hasil produksi.
 7. Admin dapat mengunduh laporan.
- c). Petugas Lapangan
1. Petugas lapangan bisa melakukan login dengan akun yang sudah didaftarkan oleh admin.
 2. Petugas lapangan dapat menginput data real-time seperti data lingkungan, perawatan, dan hasil produksi ke dalam aplikasi secara langsung.

3.2.3 Analisis Kebutuhan Non-Fungsional

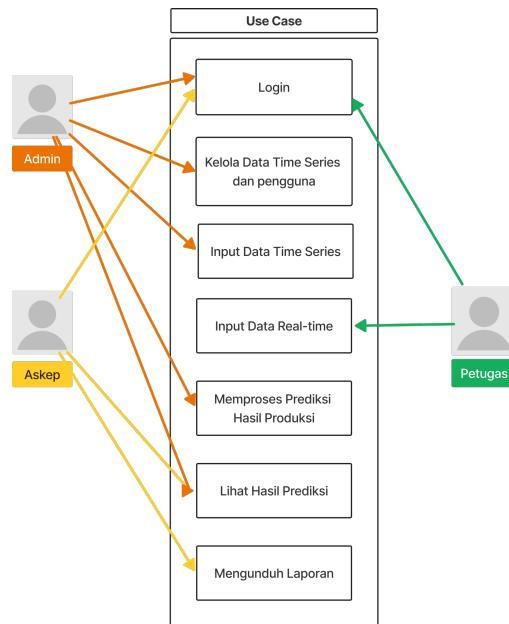
Analisis kebutuhan non fungsional dilakukan untuk mengetahui spesifikasi kebutuhan untuk perancangan, pengembangan, dan implementasi aplikasi. Analisa kebutuhan non fungsional terbagi dua, yaitu Analisa perangkat keras dan Analisa perangkat lunak:

1. System Operasi MacOS.
2. Laptop Macbook Air M1.
3. Aplikasi Code Editor Visual Studio Code atau Google Colab.
4. Aplikasi PostgreSQL.

5. Aplikasi Browser.

3.2.4 Use Case Diagram

Pada tahapan ini terdapat 3 aktor yaitu Asisten Kepala, kerani (Operator) dan petugas lapangan. Penjelasan pada tahap ini diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Use Case Diagram

Gambar 3.1 menjelaskan tentang *Use Case Diagram* yang memiliki tiga aktor yaitu Asisten Kepala, Kerani (Admin) dan Petugas Lapangan, serta enam *Use Case* yaitu Login, Kelola Data Time Series, Input Data Time Series, Input Data Real-time, Memproses Prediksi Hasil Produksi, Lihat Hasil Produksi, dan Mengunduh Laporan.

3.2.1.1 Definisi Aktor

Definisi aktor pada sistem dideskripsikan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Definisi Aktor

No	Aktor	Deskripsi
1	Asisten Kepala	Pengambil keputusan utama yang memantau hasil prediksi, memberikan instruksi pemeliharaan tambahan dan laporan hasil produksi.
2	Kerani (Admin)	Bertanggung jawab dalam mengelola data pengguna, mengelola Data Time Series, dan melihat laporan hasil produksi.
3	Petugas Lapangan	Bertugas untuk memasukkan data real-time terkait faktor lingkungan seperti curah hujan dan faktor perawatan seperti pemupukan.

Tabel 3.1 menjelaskan peran tiga aktor utama dalam sistem, yaitu Asisten Kepala, Kerani (Admin), dan Petugas Lapangan. Asisten Kepala bertindak sebagai pengambil keputusan utama dengan tugas memantau hasil prediksi, memberikan instruksi tambahan terkait pemeliharaan, dan menyusun laporan hasil produksi. Kerani bertanggung jawab dalam pengelolaan data pengguna, penyimpanan Data Time Series, serta akses terhadap laporan hasil produksi. Sementara itu, Petugas Lapangan berperan dalam pengumpulan data real-time terkait faktor lingkungan seperti curah hujan dan faktor perawatan pemupukan.

3.2.1.2 Definisi *Use Case*

Pada Tabel 3.4 akan mendefinisikan setiap case Login, Kelola Data Time Series dan pengguna, input data real-time, Memproses prediksi hasil produksi, Lihat hasil produksi, dan mengunduh laporan.

Tabel 3. 6 Definisi Use Case

No	Use Case	Deskripsi
1	Login	Proses yang memungkinkan user Asisten Kepala, Admin, dan Petugas Lapangan akan diverifikasi sebelum memasuki sistem.

2	Kelola Data Time Series dan pengguna.	Admin dapat menambahkan, mengubah, atau menghapus Data Time Series dan pengguna.
3	Input Data Real-time	Petugas melakukan penginputan data real-time dari faktor lingkungan, faktor perawatan, dan hasil produksi.
4	Memproses Prediksi Hasil Produksi	Admin menjalankan model prediksi berdasarkan data yang tersedia.
5	Lihat Hasil Prediksi	Petinggi dan admin dapat mengakses hasil prediksi yang dihasilkan oleh sistem berdasarkan data yang sudah dimasukkan.
6	Mengunduh Laporan	Asisten Kepala dapat mengunduh data atau laporan sesuai dengan kebutuhan.

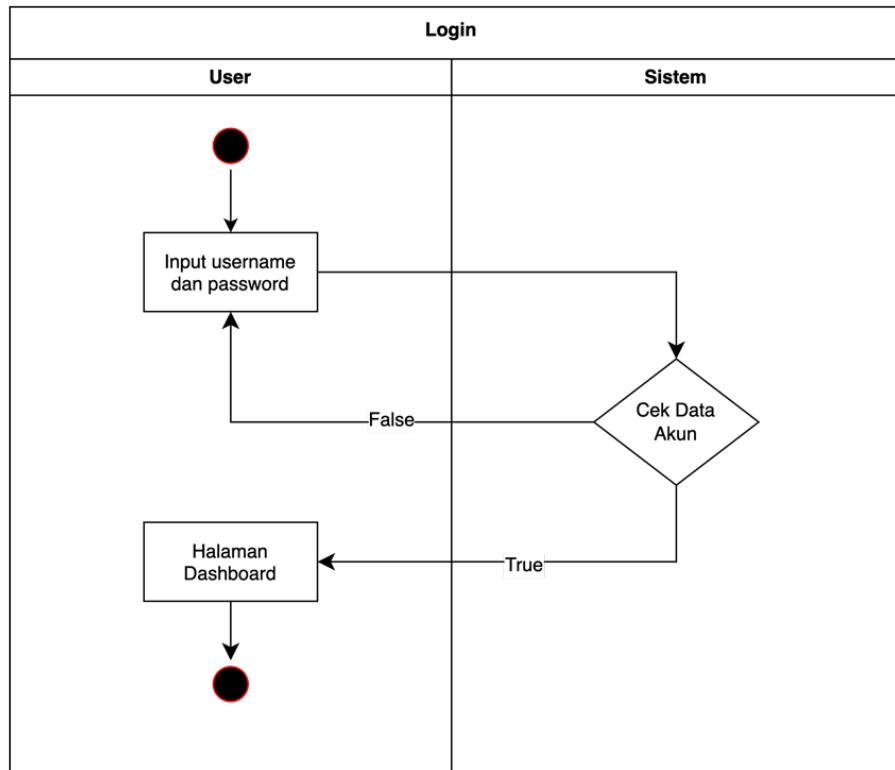
Pada Tabel 3.4 ini menjelaskan enam use case utama dalam sistem. Use case "Login" memungkinkan user seperti Asisten Kepala, Admin, dan Petugas Lapangan untuk diverifikasi sebelum mengakses sistem. Selanjutnya, Admin memiliki kemampuan untuk mengelola Data Time Series dan pengguna, termasuk menambahkan, mengubah, atau menghapus data. Petugas Lapangan bertugas menginput data real-time dari faktor lingkungan, faktor perawatan, dan hasil produksi. Admin dapat memproses prediksi hasil produksi menggunakan model berbasis data yang tersedia. Hasil prediksi ini dapat diakses oleh Asisten Kepala dan Admin untuk keperluan analisis. Terakhir, Asisten Kepala memiliki fitur untuk mengunduh laporan sesuai kebutuhan.

3.2.5 *Activity Diagram*

Activity Diagram adalah diagram yang dapat memodelkan proses-proses yang terjadi pada sistem.

1. *Activity Diagram Login*

Tahapan *Activity Diagram* Login yang dapat diakses oleh *user* atau semua aktor dapat dilihat pada Gambar 3.2

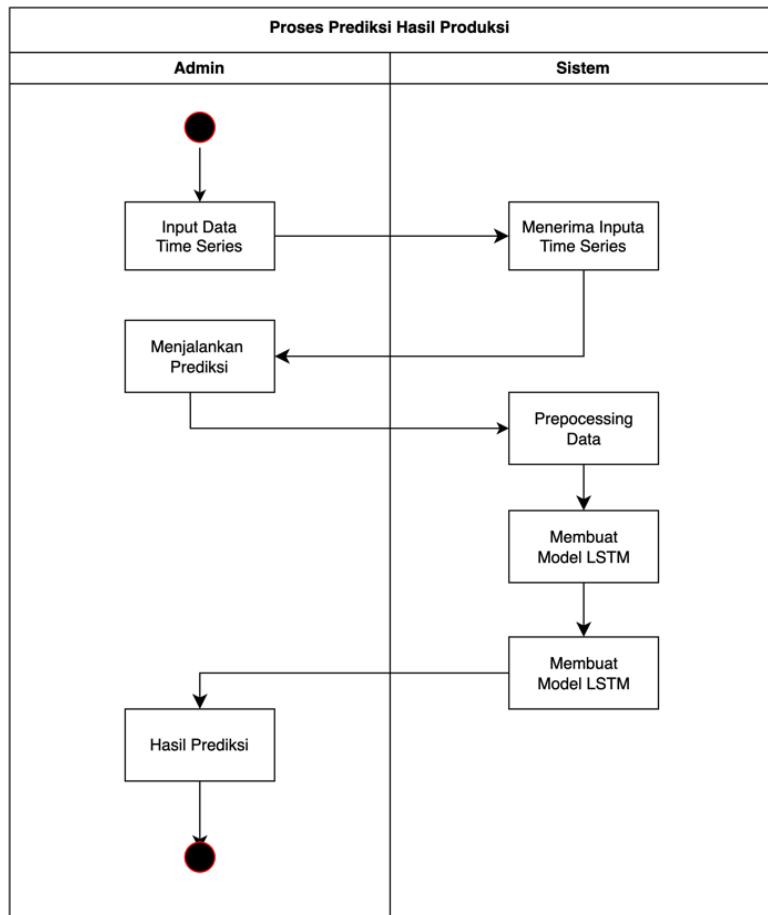


Gambar 3. 2 *Activity Diagram* Login

Gambar 3.2 menjelaskan *Activity Diagram* Login. Proses dimulai dari *user* dengan memasukkan *username* dan *password*, lalu data tersebut dikirim ke sistem untuk diverifikasi pada tahap “Cek Data Akun”. Pada tahap keputusan, jika data tidak valid (*false*), proses login dihentikan, dan *user* akan diarahkan Kembali atau diberi pesan kesalah. Sebaliknya, jika data valid (*True*), *user* akan diarahkan ke halaman dashboard, yaitu halaman utama setelah berhasil login.

2. *Activity* Proses Prediksi Hasil Produksi

Tahapan *Activity Diagram* Proses Prediksi Hasil Prediksi yang hanya bisa diakses oleh *admin* dapat dilihat pada Gambar 3.3



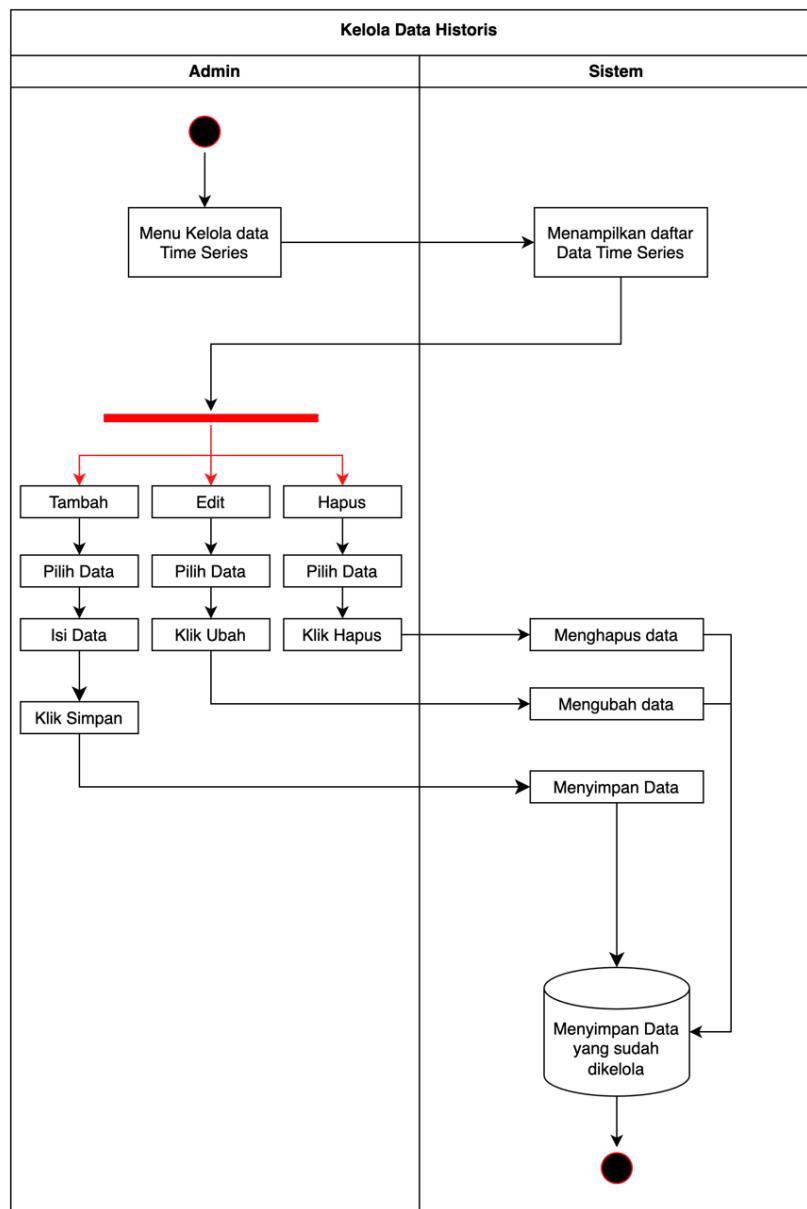
Gambar 3. 3 *Activity* Proses Prediksi Hasil Produksi

Gambar 3.3 menjelaskan *Activity Diagram* Proses Prediksi Hasil Produksi. Proses dimulai dari *Admin* yang memasukkan data *time-series*, kemudian sistem menerima data tersebut untuk diproses lebih lanjut. Sistem melakukan preporcessing data untuk memastikan data dalam format yang sesuai sebelum membangun model prediksi menggunakan algoritma *LSTM* (*Long Short-term Memory*). Setelah model dibuat, *Admin* menjalankan proses prediksi menggunakan model yang telah dibuat oleh sistem. Hasil prediksi kemudian ditampilkan oleh sistem kepada *Admin* sebagai output akhir.

3. *Activity* Kelola Data Time Series

Tahapan *Activity Diagram* Kelola Data Time Series yang hanya bisa diakses oleh admin yang dimana admin dapat mengelola dapat mengelola seluruh data

pada sistem. *Activity Diagram* Kelola Data Time Series dapat dilihat pada Gambar 3.4



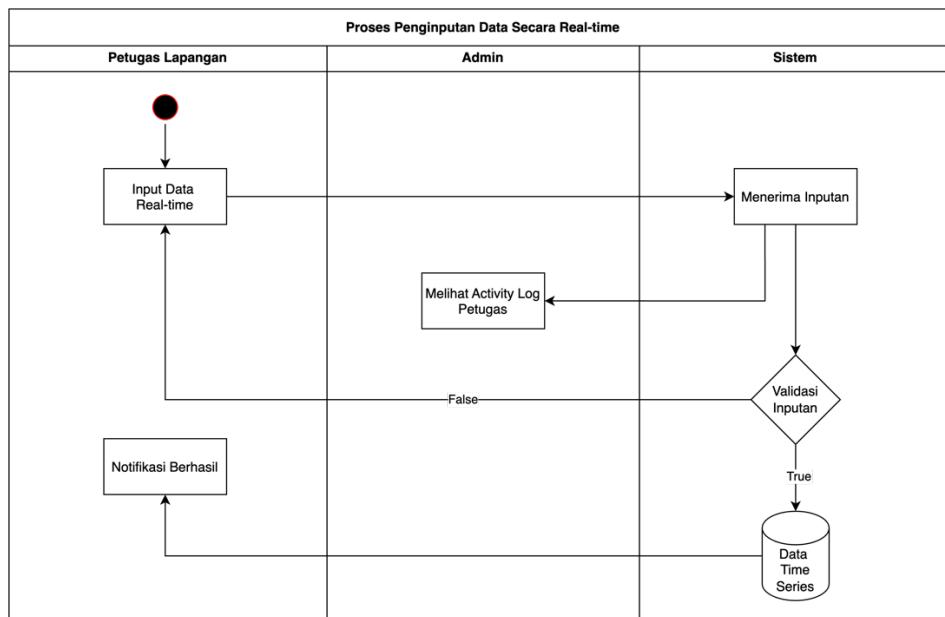
Gambar 3. 4 *Activity Diagram* Kelola Data Time Series

Gambar 3.4 menjelaskan *Activity Diagram* Kelola Data Time Series. Proses dimulai dengan *Admin* memilih menu pengelolaan data *time-series*, yang diikuti oleh sistem menampilkan daftar data yang tersedia. *Admin* kemudian dapat memilih salah satu dari tiga opsi pengelolaan: menambah data dengan mengisi informasi baru dan menyimpannya, mengedit data

dengan memilih data yang ingin diubah lalu menyimpan perubahannya, atau menghapus data yang tidak diperlukan. Sistem memproses setiap perubahan yang dilakukan, termasuk menambah, mengedit, atau menghapus data, serta menyimpan hasil pengelolaan tersebut. Proses ini diakhiri dengan penyimpanan data yang sudah dikelola.

4. Activity Input Data Real-time

Tahapan *Activity Diagram* Input Data Real-time yang hanya bisa diakses oleh petugas lapangan dapat dilihat pada Gambar 3.5



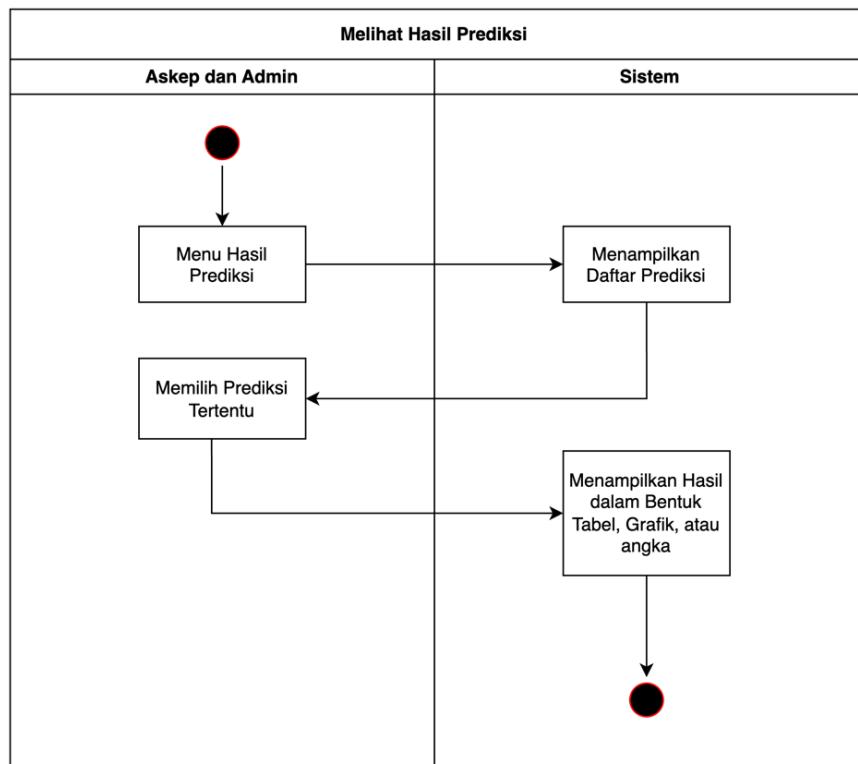
Gambar 3. 5 Activity Input Data Real-time

Gambar 3.5 menjelaskan *Activity Diagram* Input Data Real-time. Petugas lapangan menginput data secara real-time, yang kemudian berlanjut ke sistem yang akan menerima inputan. Kemudian admin bisa melihat *Activity Log* petugas lapanagan, dan sistem akan melakukan validasi otomatis. Apabila data valid, sistem akan menyimpannya ke dalam Data Time Series, dan petugas lapangan akan menerima Notifikasi Berhasil sebagai tanda bahwa proses telah selesai. Jika data tidak valid pada tahap konfirmasi oleh admin atau validasi oleh sistem, proses akan dihentikan. Diagram ini

memastikan pengelolaan data yang terstruktur, valid, dan tersimpan dengan baik untuk kebutuhan historis.

5. *Activity Lihat Hasil Prediksi*

Tahapan *Activity Diagram* Lihat Hasil Prediksi yang hanya bisa dilihat oleh Askep dan admin dapat dilihat pada Gambar 3.6

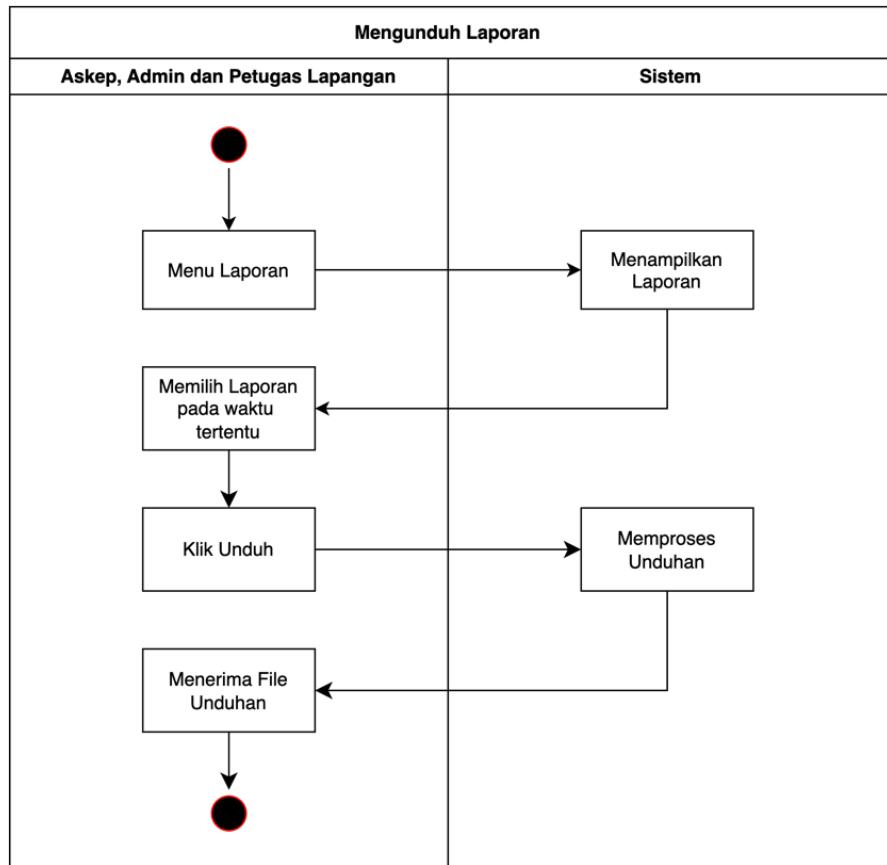


Gambar 3. 6 Acitivity Diagram Lihat Hasi Prediksi

Gambar 3.6 menjelaskan *Activity Diagram* Lihat Hasil Prediksi proses dimulai dari Askep dan Admin yang mengakses Menu Hasil Prediksi. Sistem kemudian menampilkan daftar prediksi yang tersedia. Askep dan Admin memilih prediksi tertentu, dan Sistem menampilkan hasil prediksi tersebut dalam berbagai format, seperti tabel, grafik, atau angka. Diagram ini menunjukkan interaksi antara pengguna dan sistem secara berurutan, dengan fokus pada penyajian data prediksi yang mudah diinterpretasikan oleh pengguna.

6. Activity Mengunduh Laporan

Tahapan *Activity Diagram* Mengunduh Laporan yang bisa diakses oleh semua aktor dapat dilihat pada Gambar 3.7



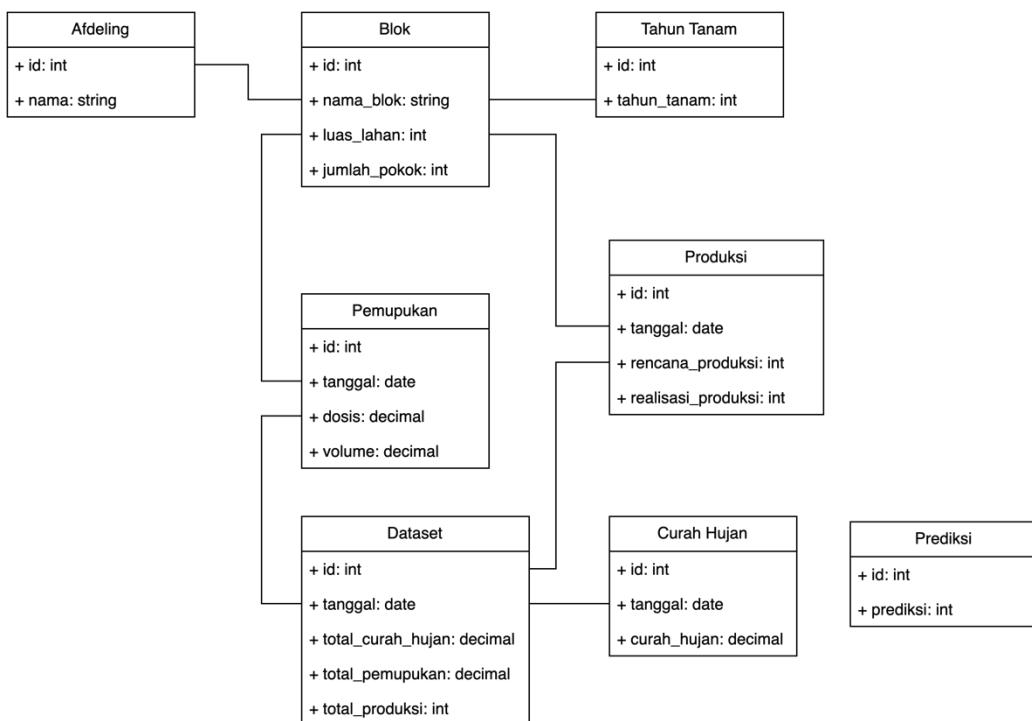
Gambar 3.7 Acitivity Diagram Mengunduh Laporan

Gambar 3.7 menjelaskan *Activity Diagram* Mengunduh Laporan. Proses dimulai ketika actor membuka “Menu Laporan” dan memilih laporan bersarkan waktu tertentu. Setelah itu, actor mengklik tombol “Unduh”, yang akan memicu sistem untuk memproses permintaan dengan menampilkan laporan yang sesuai dan mempersiapkan file laporan untuk diunduh. Setelah proses selesai, file laporan diterima oleh actor.

3.2.6 Class Diagram

Class diagram atau diagram kelas adalah salah satu jenis diagram struktur pada UML yang menggambarkan dengan jelas struktur serta deskripsi class,

atribut, metode, dan hubunga dari setiap objek. Class diagram bersifat statis, dalam artian diagram kelas bukan menjelaskan apa yang terjadi jika kelas-kelasnya berhubungan, melainkan menjelaskan hubungan apa yang terjadi. Class diagram pada sistem prediksi hasil produksi kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 3.8.



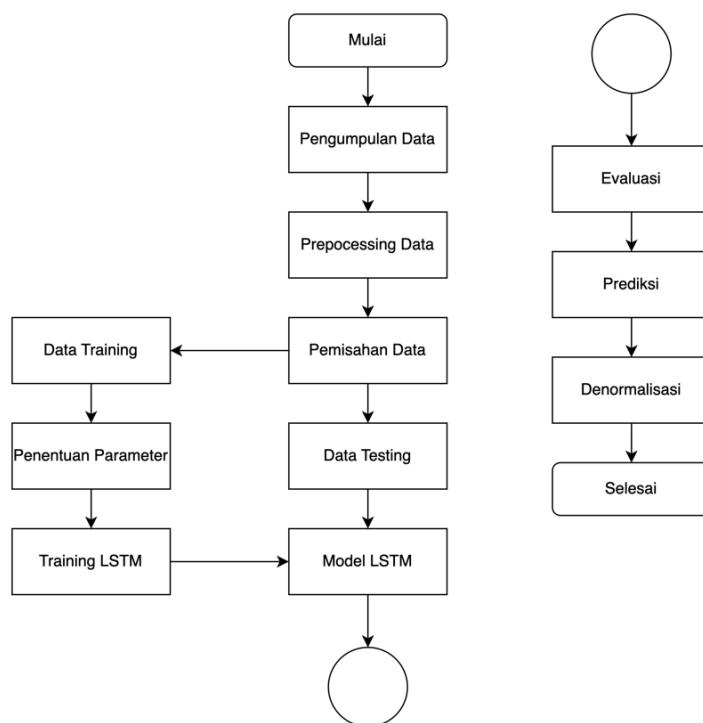
Gambar 3. 8 *Class Diagram*

Class diagram pada Gambar 3.8 menggambarkan struktur data yang terorganisir dalam sistem manajemen pertanian. Terdapat beberapa entitas kunci, yaitu Afdeling, Blok, Tahun Tanam, Pemupukan, Produksi, Dataset, Curah Hujan, dan Prediksi. Setiap entitas memiliki atribut spesifik yang mencakup ID, nama, dan data numerik seperti dosis dan volume untuk Pemupukan, serta rencana dan realisasi produksi untuk Produksi. Hubungan antar entitas menunjukkan bagaimana informasi saling terkait, misalnya, Blok terhubung dengan Afdeling, sedangkan Pemupukan dan Produksi terkait dengan Tahun Tanam. Diagram ini menciptakan gambaran komprehensif mengenai proses dan pengelolaan data

dalam kegiatan pertanian, memungkinkan pengguna untuk memahami alur pengumpulan dan penggunaan data untuk prediksi hasil produksi.

3.3 Desain Model Prediksi

Desain model prediksi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode *Long Short-term Memory* dengan memprediksi hasil produksi berdasarkan faktor lingkungan dan perawatan, serta data hasil produksi. Proses tahapan desain sistem menggunakan metode *Long Short-term Memory* dapat dilihat pada Gambar 3.9



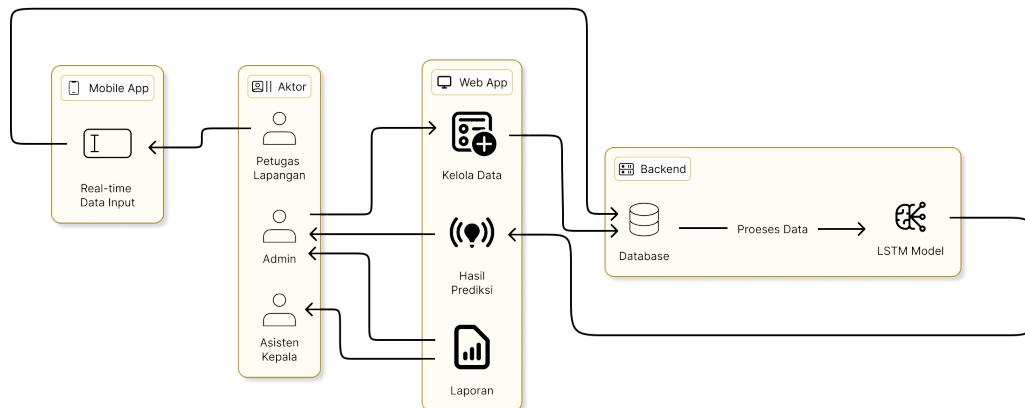
Gambar 3. 9 Desain Model Prediksi

Gambar 3.9 menjelaskan Desain sistem model *Long Short-term Memmory*. Proses dimulai dengan pengumpulan data, seperti data lingkungan (curah hujan), perawatan (pemupukan), dan hasil produksi kelapa sawit. Data yang dikumpulkan keudian melalui tahap penanganan missing value (Penanganan nilai yang kosong pada data), uji normalitas, dan normalisasi untuk memastikan kualitas dan konsistensi data. Selanjutnya, data disegmentasi dan dibagi menjadi

data training untuk melatih model dan data testing untuk evaluasi. Parameter-parameter model LSTM ditentukan, dan model dilatih menggunakan data training untuk mempelajari pola. Setelah pelatihan selesai, model diuji dengan data testing untuk mengevaluasi performanya menggunakan metrik tertentu. Model yang terlatih kemudian digunakan untuk prediksi hasil produksi, dan hasilnya didenormalisasi ke skala aslinya agar dapat diinterpretasikan.

3.4 Arsitektur Umum Sistem Prediksi Hasil Produksi

Ilustrasi dari arsitektur umum perancangan sistem prediksi hasil produksi dapat dilihat pada Gambar 3.10



Gambar 3. 10 Arsitektur Umum Sistem Prediksi Hasil Produksi

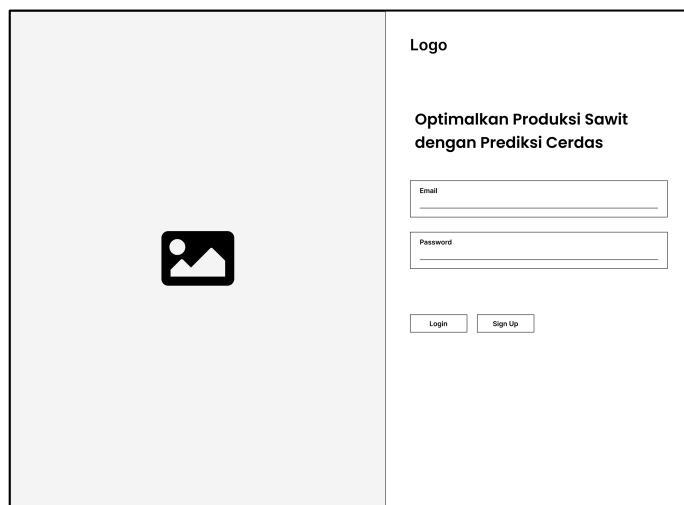
Pada Gambar 3.10 menjelaskan Arsitektur Umum Sistem Hasil Prediksi Produksi Kelapa Sawit. Petugas lapangan bertugas menginput data real-time terkait faktor lingkungan dan perawatan melalui aplikasi mobile, sementara operator (admin) mengelola data time series, dan menjalankan hasil prediksi menggunakan aplikasi berbasis website. Hasil prediksi ini kemudian digunakan oleh asisten kepala sebagai dasar pengembalian keputusan strategis, yang juga dapat mengunduh laporan hasil prediksi. Pada Backend sistem meengolah data yang diterima dari aplikasi mobile dan web, kemudian menyimpannya ke dalam database, dan memprosesnya menggunakan model *Long-short term memory* (*LSTM*) untuk menghasilkan prediksi yang akurat.

3.5 Perancangan Antarmuka (User Interface)

Perancangan *User Interface* pada sistem ini bertujuan untuk menciptakan tampilan yang dapat memandu pengguna dalam mengoperasikan program sistem kedepannya. Berikut adalah ranagnan antarmuka yang akan dibangun.

1. Halaman *Login*

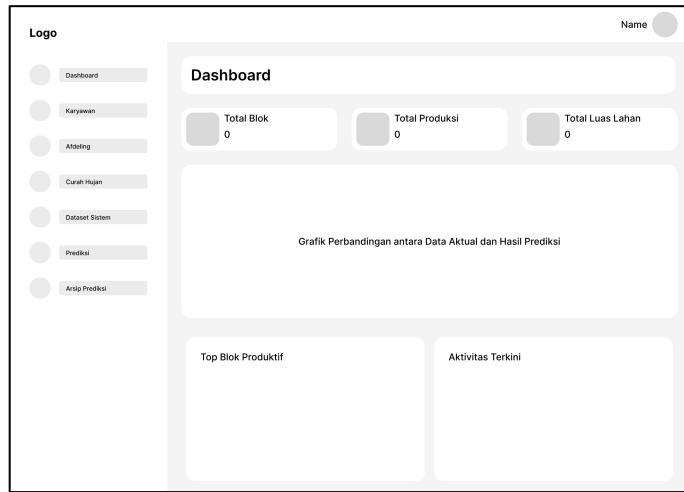
User Interface login dapat dilihat secara lebih jelas pada Gambar 3.11 yang menampilkan elemen-elemen penting seperti kolom input untuk username dan password, serta tombol untuk masuk ke dalam sistem.



Gambar 3. 11 Interface Login

2. Halaman *Dashboard*

User Interface Dashboard berfungsi untuk menampilkan ringaksan data, monitoring aktivitas, navigasi cepat, dan visualisasi data. Untuk perancangan *User Interface Dashboard* dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Interface Dashboard

3. Halaman Data Karyawan

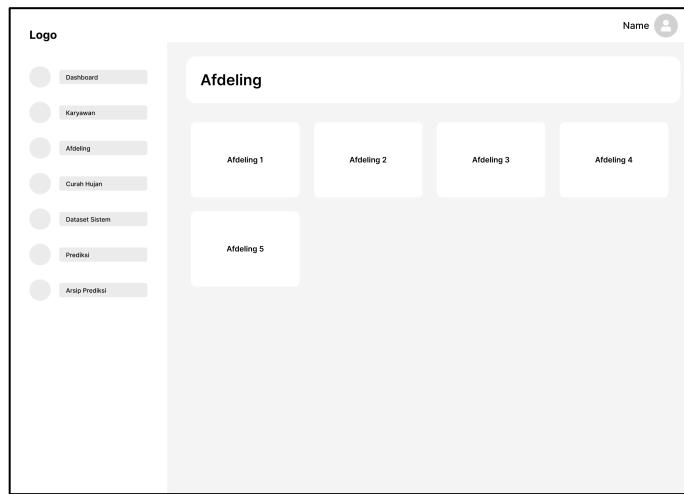
User Interface Data Karyawan akan menyajikan data-data karyawan yang bertugas di PTPN IV Regional VI KSO. Untuk perancangan *User Interface* Data Karyawan dapat *dilihat* pada Gambar 3.13.

No	Nama Karyawan	Jabatan	Tanggal Masuk	Lokasi Kerja	Lama Kerja	Action
1	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	

Gambar 3. 13 Interface Data Karyawan

4. Halaman Afdeling

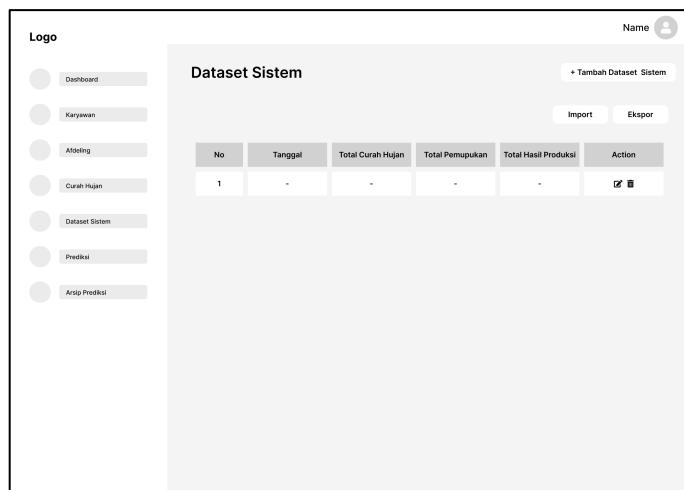
User Interface Afdeling menyajikan menu bagian afdeling yang nantiknya untuk menampilkan data-data terkait hasil produksi dan pemupukan. Untuk perancangan *User Interface* Afdeling dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3. 14 Interface Afdeling

5. Halaman Dataset Sistem

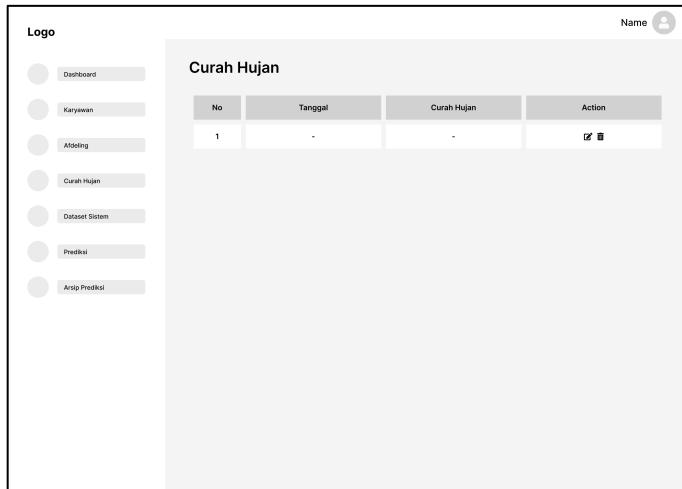
User Interface Dataset Sistem menyajikan data-data total curah hujan, pemupukan, dan hasil produksi. Untuk perancangan *User Interface* Data Sistem dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3. 15 Interface Dataset Sistem

6. Halaman Curah Hujan

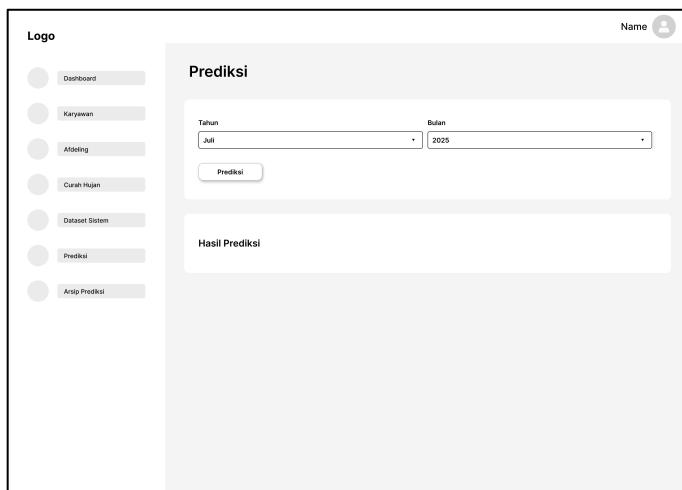
User Interface Curah Hujan merupakan halaman untuk memproses normalisasi data yang akan digunakan untuk diprediksi. Untuk perancangan *User Interface* Curah Hujan dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Interface Curah Hujan

7. Halaman Prediksi

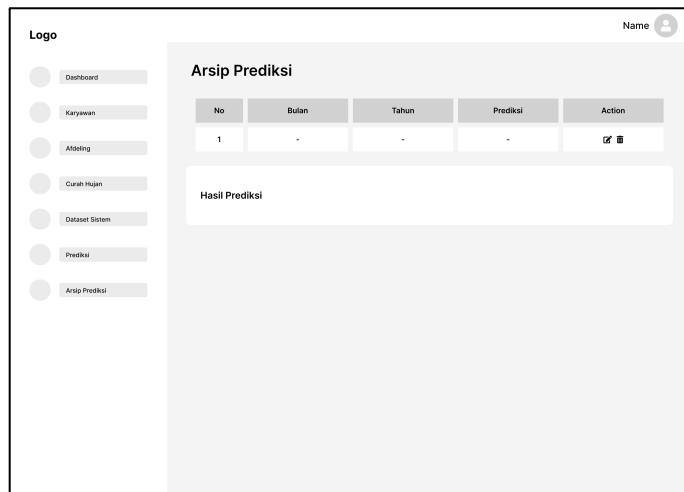
User Interface Prediksi merupakan halaman untuk memproses data prediksi sesuai blok panen yang dipilih, kemudian hasil akan langsung ditampilkan pada halaman *ini* dalam bentuk table dan grafik setelah proses prediksi selesai. Untuk perancangan *User Interface* Prediksi dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Interface Prediksi

8. Halaman Arsip Prediksi

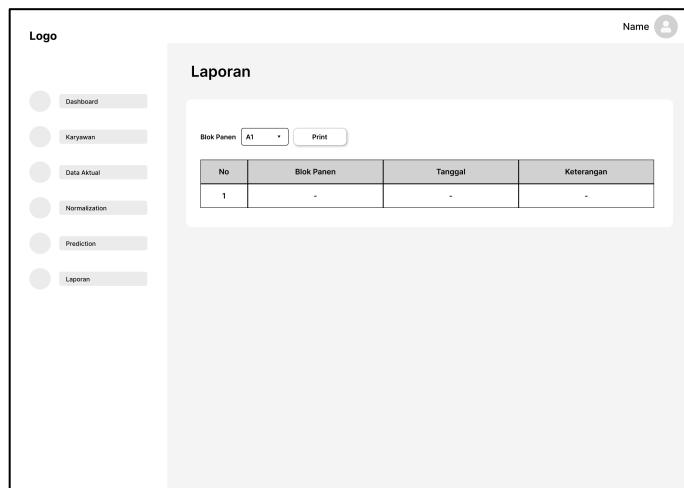
User Interface Arsip Prediksi merupakan halaman untuk menampilkan hasil prediksi yang sudah di proses. Untuk perancangan *User Interface* Arsip Prediksi dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3. 18 Interface Arsip Prediksi

9. Halaman Laporan

User Interface Laporan merupakan halaman untuk mencetak laporan sesuai masing-masing blok panen. Untuk perancangan *User Interface* Laporan dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3. 19 Interface Laporan

3.6 Teknik Pengujian

3.4.1 Pengujian *Black Box*

Pengujian ini berfokus pada pengujian fungsionalitas sistem berdasarkan spesifikasi tanpa melihat implementasi internal atau kode program. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua fungsi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan. Pengujian memberikan input pada sistem dan memeriksa apakah output yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan. Misalnya, sistem memprediksi hasil produksi kelapa sawit ketika data time-series dimasukkan, dan pengujian memeriksa apakah prediksi tersebut benar ditampilkan. Pengujian *Black Box* juga mencakup pengujian validasi input, navigasi antarhalaman, serta respon terhadap aksi pengguna.

3.4.2 Pengujian *White Box*

Pengujian *White Box* merupakan pengujian yang dilakukan dengan memeriksa logika internal, alur program, dan kode sumber sistem untuk memastikan sistem bekerja sesuai desain. Teknik ini mengharuskan pengujian memiliki pengetahuan tentang kode program. Pengujian dilakukan pada tingkat unit (fungsi), integrasi (interaksi antar modul), dan sistem secara keseluruhan. Dalam sistem prediksi ini, pengujian *White Box* mencakup pengujian algoritma *Long Short-term Memory (LSTM)* untuk memastikan *preprocessing* data berjalan benar, struktur data diproses dengan baik, dan model memberikan output prediksi yang sesuai. Selain itu, pengujian integrasi database memastikan data disimpan dan diambil tanpa kesalahan.

3.4.3 Pengujian Kinerja Model Prediksi Menggunakan Metrik *MAE*, *RMSE*, dan *R2 Score*

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan keandalan model prediksi yang digunakan dalam sistem, menggunakan data uji. Pengujian ini berfokus pada algoritma LSTM yang menjadi inti dari sistem prediksi. Data time-series yang tidak digunakan dalam pelatihan model digunakan sebagai dataset pengujian. Evaluasi ini dilakukan menggunakan tiga metrik utama, yaitu:

- Mean Absolute Error (MAE) mengukur rata-rata kesalahan absolut antara hasil prediksi dan nilai aktual. Nilai MAE yang lebih kecil menunjukkan bahwa prediksi model lebih mendekati nilai sebenarnya.
- Root Mean Square Error (RMSE) menghitung akar kuadrat dari rata-rata kuadrat kesalahan. Metrik ini memberikan penalti lebih besar terhadap kesalahan yang besar dibandingkan MAE, sehingga lebih sensitif terhadap outlier. RMSE yang rendah menunjukkan performa model yang lebih baik dalam menangkap pola data.
- R² Score (R-Squared) mengukur seberapa baik variansi dalam data aktual dapat dijelaskan oleh hasil prediksi model. Nilai R² berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai mendekati 1 menandakan bahwa model memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik, sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa model lebih buruk dibandingkan rata-rata.

Melalui evaluasi ini, diperoleh pemahaman kuantitatif mengenai kinerja model dalam merepresentasikan hubungan antara variabel input (seperti curah hujan dan pemupukan) terhadap hasil produksi kelapa sawit. Hasil evaluasi ini juga menjadi acuan dalam menentukan efektivitas model serta dalam melakukan perbaikan atau optimasi model pada tahap berikutnya.

3.7 Hasil yang diharapkan

Dari penelitian yang akan dilakukan ini, ada beberapa hasil yang diharapkan. Adapun hasil yang diharapkan antara lain:

1. Model dapat menghasilkan prediksi yang akurat mengenai hasil produksi kelapa sawit di PTPN IV REGIONAL 6 KSO menggunakan algoritma *Long Short-term Memory (LSTM)*.
2. Sistem membantu mengurangi waktu dan upaya manual yang sebelumnya diperlukan untuk memproses data time-series dan melakukan prediksi, sehingga mempercepat proses analisis dan pengambilan keputusan.

BAB IV

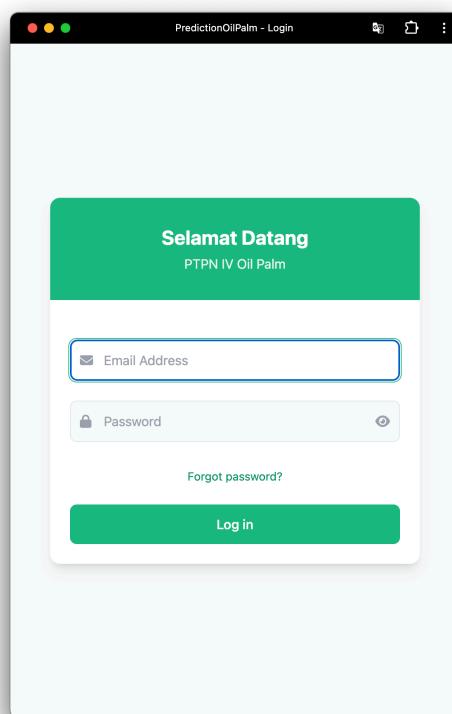
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini mengulas hasil penerapan metode *Long Short-term Memory* (LSTM) dalam memprediksi hasil produksi kelapa sawit serta hasil dan pengujian sistem yang telah dikembangkan. Rincian hasil penelitian dan pengujian sistem akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut:

4.1 Hasil Tampilan User Interface Prediksi Hasil Produksi Kelapa Sawit

Subbab ini akan memaparkan hasil tampilan antarmuka pengguna (User Interface) dari sistem prediksi hasil produksi kelapa sawit. Antarmuka pengguna adalah komponen krusial untuk interaksi dengan model prediksi. Berikut ini adalah hasil dan pembahasan yang lebih rinci:

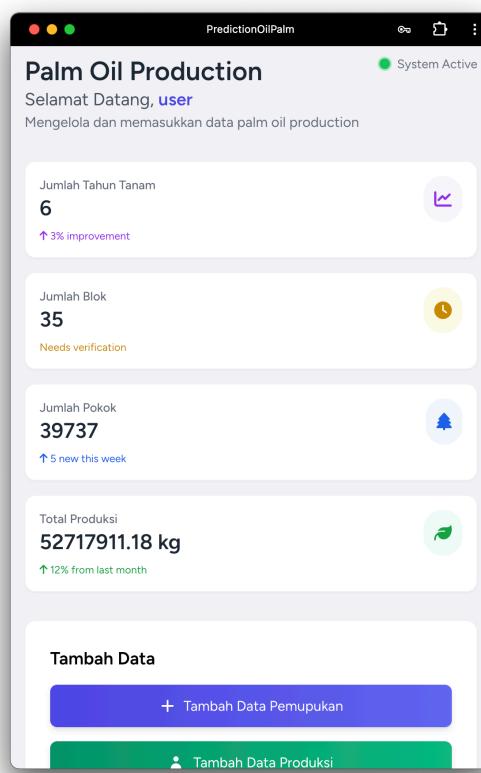
4.1.1 Halaman Login (*Petugas Lapangan*)



Gambar 4. 1 Halaman Login (*Petugas Lapangan*)

Gambar 4.1 tersebut menampilkan halaman login dari aplikasi *PredictionOilPalm* milik PTPN IV yang digunakan untuk sistem prediksi hasil produksi kelapa sawit. Halaman ini memiliki desain sederhana dengan dominasi warna hijau dan putih, menampilkan sambutan "Selamat Datang" serta dua kolom input untuk email dan password, lengkap dengan ikon yang sesuai. Di bawahnya terdapat tautan "Forgot password?" dan tombol "Log in" berwarna hijau untuk mengakses sistem. Tampilan ini menunjukkan fokus pada kemudahan penggunaan dan identitas perusahaan.

4.1.2 Halaman Beranda (*Petugas Lapangan*)

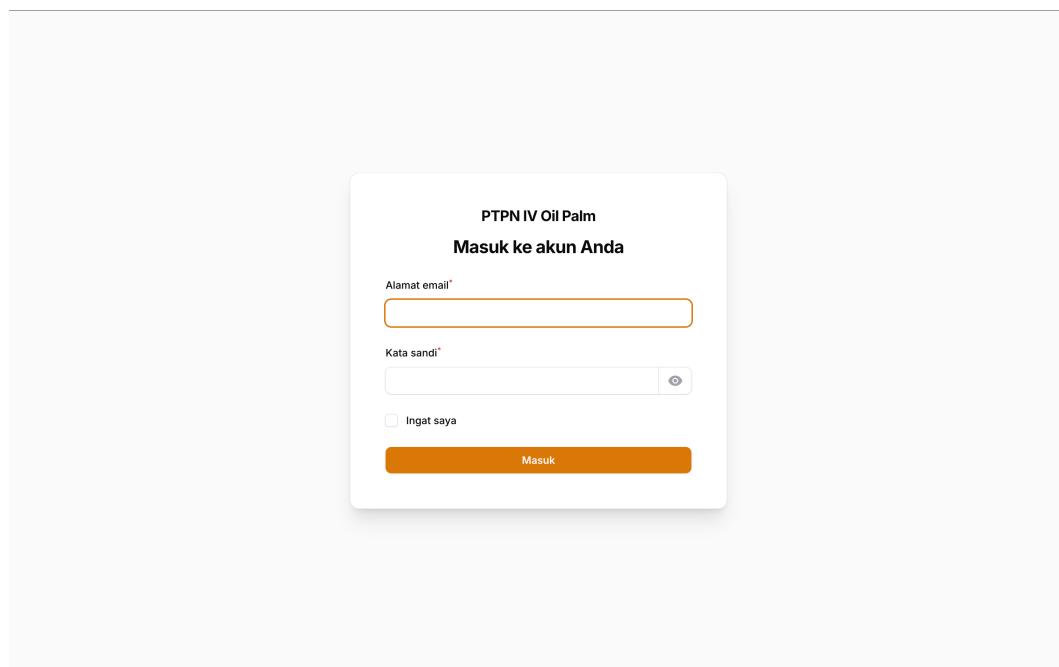


Gambar 4.2 Halaman Beranda (Petugas Lapangan)

Gambar 4.2 menampilkan halaman utama dashboard aplikasi *Palm Oil Production* yang digunakan untuk mengelola dan memasukkan data produksi kelapa sawit. Di bagian atas terdapat status sistem yang aktif serta sambutan kepada pengguna. Dashboard ini menampilkan informasi ringkas seperti jumlah

tahun tanam (6 tahun), jumlah blok (35 blok), jumlah pokok kelapa sawit (39.737), dan total produksi (52.717.911,18 kg) dengan indikator perubahan data. Terdapat dua tombol aksi utama yaitu "Tambah Data Pemupukan" dan "Tambah Data Produksi". Selain itu, ditampilkan juga daftar karyawan lapangan beserta jabatan dan lokasi kerja, tabel data blok yang mencakup nomor blok, tahun tanam, luas lahan, jumlah pokok, serta status kecukupan, dan bagian kosong untuk "Aktivitas Terkini". Tampilan ini memberikan ringkasan komprehensif mengenai aktivitas dan kondisi terkini di kebun kelapa sawit.

4.1.3 Halaman Login(*Admin*)

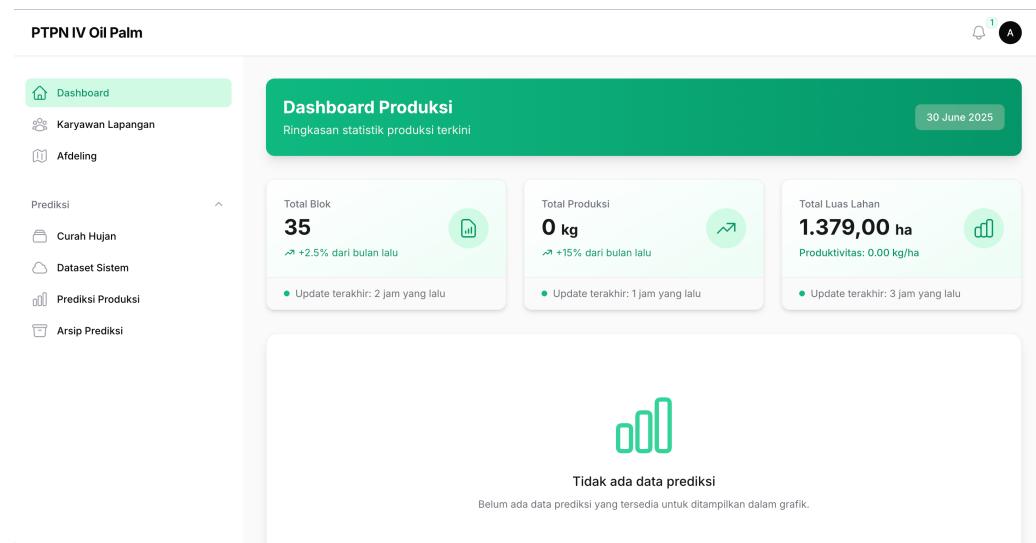


Gambar 4. 3 Halaman Login (Admin)

Gambar 4.3 tersebut menampilkan halaman login dari aplikasi *PTPN IV Oil Palm*, yang digunakan untuk mengakses sistem manajemen data produksi kelapa sawit. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk memasukkan alamat email dan kata sandi untuk otentikasi, dengan tambahan opsi “Ingat saya” agar pengguna tetap masuk tanpa harus login ulang di kunjungan berikutnya. Tersedia juga ikon mata pada kolom kata sandi yang memungkinkan pengguna melihat atau menyembunyikan karakter sandi demi kenyamanan dan keamanan. Desain

sederhana dan terfokus ini memastikan proses login berjalan cepat dan efisien bagi pengguna sistem.

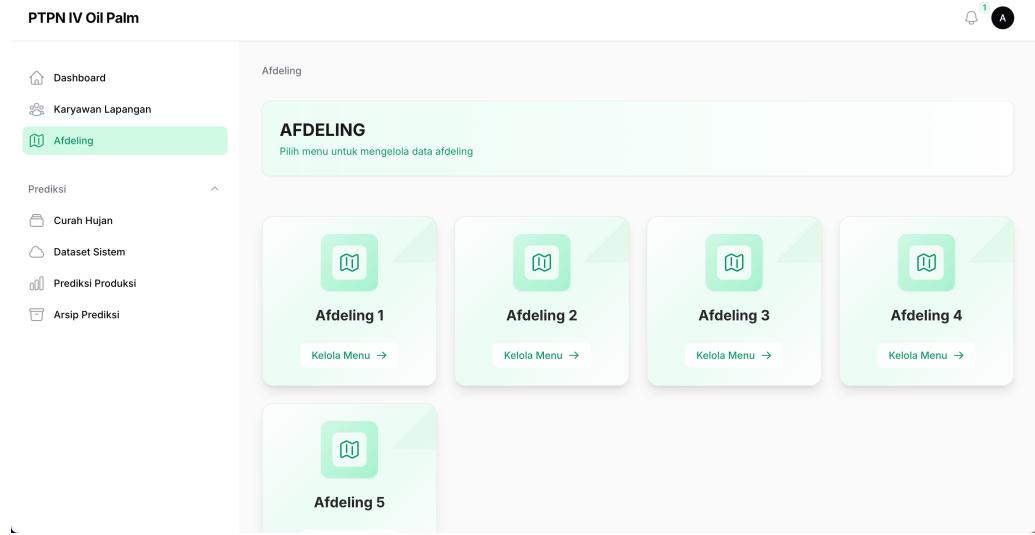
4.1.4 Halaman Dashboard (*Admin*)



Gambar 4. 4 Halaman Dashboard (*Admin*)

Gambar 4.4 merupakan tampilan halaman dashboard produksi aplikasi *PTPN IV Oil Palm* yang menyajikan ringkasan statistik produksi kelapa sawit terkini per 2 Juni 2025. Informasi utama yang ditampilkan meliputi jumlah total blok (35), total produksi (1.069.999.172 kg) dengan peningkatan 15% dari bulan lalu, dan total luas lahan (1.413 ha) beserta produktivitasnya (757.253,48 kg/ha). Di bawahnya terdapat panel untuk grafik produksi bulanan (belum ditampilkan), daftar 5 blok paling produktif lengkap dengan tahun tanam, luas, dan produktivitas per hektare, serta kolom "Aktivitas Terkini" yang masih kosong. Navigasi di sisi kiri menampilkan menu seperti dashboard, data karyawan lapangan, afdeling, serta berbagai submenu terkait prediksi produksi dan hasil prediksi.

4.1.5 Halaman Afdeling (*Admin*)



Gambar 4. 5 Halaman Afdeling (Admin)

Gambar 4.5 menampilkan halaman *Afdeling* dari aplikasi *PTPN IV Oil Palm*, yang berfungsi untuk mengelola data berdasarkan unit kebun atau wilayah kerja yang disebut "Afdeling". Dalam tampilan ini, terdapat lima kartu menu interaktif yang masing-masing mewakili Afdeling 1 hingga Afdeling 5, dengan opsi “Kelola Menu” di bawah masing-masingnya yang memungkinkan pengguna mengakses atau mengatur data dan aktivitas terkait di tiap afdeling.

4.1.6 Halaman Dataset Sistem (*Admin*)

Dataset Sistem				
	Tanggal	Total Curah Hujan (mm)	Total Pemupukan (kg)	Total Hasil Produksi (kg)
<input type="checkbox"/>	Jan 31, 2021	133,85		61.501.016
<input type="checkbox"/>	Feb 28, 2021	285,62	128.550,00	54.060.000
<input type="checkbox"/>	Mar 31, 2021	377,81	256.650,00	57.976.834
<input type="checkbox"/>	Apr 30, 2021	78,29	294.750,00	60.634.849
<input type="checkbox"/>	Mei 31, 2021	133,64	402.800,00	68.200.009
<input type="checkbox"/>	Jun 30, 2021	274,86	160.750,00	51.260.746
<input type="checkbox"/>	Jul 31, 2021	192,04	485.500,00	73.990.761
<input type="checkbox"/>	Agt 31, 2021	46,28	430.700,00	70.150.388

Gambar 4. 6 Halaman Dataset Sistem (Admin)

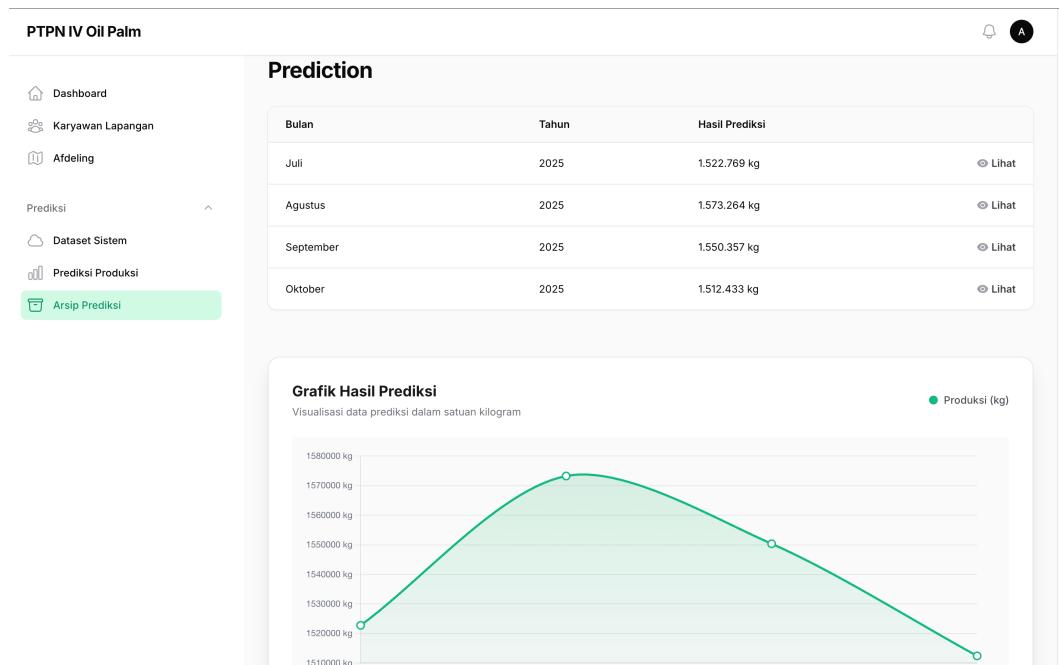
Gambar 4.6 tersebut menampilkan halaman *Dataset Sistem* dari aplikasi *PTPN IV Oil Palm* yang berfungsi sebagai pusat data historis untuk keperluan analisis dan prediksi produksi kelapa sawit. Tabel yang ditampilkan memuat data per bulan dari periode Juli 2023 hingga Februari 2024, dengan tiga parameter utama: total curah hujan (mm), total pemupukan (kg/ha), dan total hasil produksi (ton/ha). Setiap baris data dilengkapi dengan opsi "Ubah" dan "Hapus" untuk mengelola entri secara fleksibel. Di bagian atas terdapat tombol "Buat" untuk menambahkan data baru dan kolom pencarian untuk memudahkan pencarian dataset tertentu.

4.1.7 Halaman Prediksi (*Admin*)

Gambar 4. 7 Halaman Prediksi (Admin)

Gambar 4.7 menampilkan halaman *Dataset Sistem* dari aplikasi *PTPN IV Oil Palm* yang berfungsi sebagai pusat data historis untuk keperluan analisis dan prediksi produksi kelapa sawit. Pada halaman ini menampilkan hasil prediksi Januari 2025 dengan angka prediksi hasil produksinya mencapai 58.303.912 kg, dan nilai *Confidence* (Kepercayaan Model) 94.80%, yang artinya model yang dibangun sebelumnya sudah cukup baik untuk membaca data baru dan melakukan prediksi di bulan berikutnya.

4.1.8 Halaman Hasil Prediksi (*Admin*)



Gambar 4. 8 Halaman Hasil Prediksi (Admin)

Gambar 4.8 tersebut menampilkan halaman *Hasil Prediksi* dari aplikasi *PTPN IV Oil Palm*, yang berisi output hasil prediksi produksi kelapa sawit berdasarkan data historis yang telah dianalisis sebelumnya. Tabel pada halaman ini menyajikan tiga entri hasil prediksi untuk bulan Juli dan Oktober tahun 2025, serta Januari tahun 2026, masing-masing dengan hasil produksi sebesar 1.557.280 ton, 1.386.112 ton, dan 1.350.083 ton.

4.2 Implementasi Rancangan Metode

Penelitian ini menggunakan Dataset yang terdiri dari 250 data. Pembangunan Model LSTM dilakukan melalui beberapa prosedur yang dijelaskan di bab 3. Berikut adalah implementasi dari setiap prosedur tersebut.

4.2.1 Cleaning Data

Clean Data digunakan untuk membersihkan dan menyiapkan data sebelum digunakan dalam pelatihan model. Proses ini mencakup pengisian nilai yang hilang (NaN) dengan metode forward fill dan backward fill agar urutan data tetap

utuh, menghapus baris yang masih mengandung nilai kosong setelah proses pengisian, serta menghilangkan data duplikat agar tidak memengaruhi hasil pelatihan. Dengan langkah-langkah ini, data menjadi lebih konsisten, lengkap, dan bebas gangguan, sehingga dapat meningkatkan akurasi dan stabilitas model saat dilatih.

tanggal	curah_hujan	pemupukan	hasil_produksi
2005-01-31	236.00	1124604.0	69531612
2005-02-28	569.61	790813.0	66712636
2005-03-31	442.97	423612.0	65712100
2005-04-30	365.77	436324.0	68021283
2005-05-31	109.47	906757.0	69347719
...
2024-08-31	139.19	160935.0	64336742
2024-09-30	19.13	274.0	57145727
2024-10-31	61.09	236631.0	62516380
2024-11-30	306.11	2358.0	73305893
2024-12-31	221.70	2358.0	78395388

Gambar 4. 9 Hasil Cleaning Data

Gambar 4.9 menunjukkan output dari DataFrame yang telah dibersihkan. Output ini berisi 240 baris dan 4 kolom, yaitu bulan, curah_hujan, pemupukan, dan hasil_produksi, yang masing-masing merepresentasikan data bulanan dari Januari 2005 hingga Desember 2024. Berdasarkan hasil pembersihan, seluruh nilai kosong (jika ada) telah ditangani dengan forward fill dan backward fill, serta seluruh duplikasi baris telah dihapus dan indeks direset. Hasil akhirnya adalah DataFrame yang bersih, lengkap, dan siap digunakan untuk pelatihan model machine learning seperti LSTM tanpa ada gangguan dari data kosong atau duplikat.

4.2.2 Normalisasi Data

Normalisasi data adalah proses mengubah skala nilai-nilai fitur agar berada dalam rentang tertentu, dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dan stabilitas

algoritma machine learning. Salah satu metode normalisasi yang umum digunakan adalah MinMaxScaler, yang mengubah data ke dalam rentang [0, 1] (atau rentang lain yang ditentukan).

tanggal	curah_hujan	pemupukan	hasil_produksi
2005-01-31	0.374547	0.900418	0.559627
2005-02-28	0.950710	0.633102	0.462566
2005-03-31	0.731995	0.339030	0.428116
2005-04-30	0.598667	0.349210	0.507624
2005-05-31	0.156022	0.725955	0.553295
...
2024-08-31	0.207350	0.128665	0.380760
2024-09-30	0.000000	0.000000	0.133164
2024-10-31	0.072467	0.189286	0.318083
2024-11-30	0.495631	0.001669	0.689580
2024-12-31	0.349850	0.001669	0.864819

Gambar 4. 10 Hasil Normalisasi Menggunakan MinMax Scaller

Gambar 4.10 menunjukkan proses normalisasi menggunakan kode tersebut adalah data `x_scaled` dan `y_scaled` yang telah dikonversi ke dalam rentang nilai antara 0 hingga 1. Proses ini dilakukan dengan menggunakan MinMaxScaler, yang menghitung skala berdasarkan nilai minimum dan maksimum dari setiap fitur secara terpisah untuk data input (`x`) dan target/output (`y`). Tujuan normalisasi ini adalah untuk memastikan bahwa semua fitur memiliki skala yang seragam, sehingga model LSTM dapat belajar lebih efektif dan stabil, tanpa bias terhadap fitur dengan nilai yang lebih besar. Normalisasi ini sangat penting dalam deep learning karena mempercepat konvergensi dan meningkatkan performa pelatihan model.

4.2.3 Pembangunan Model *LSTM (Long Short-term Memory)*

Pada Subbab in menjelaskan tentang pembuatan model *LSTM* dengan *Huber Loss* yang berfungsi untuk memberikan ketahanan terhadap outlier dan distribusi kesalahan berekor panjang sambil mempertahankan efisiensi tinggi dalam kasus di mana kesalahan terdistribusi lebih normal.

Model: "sequential_1"		
Layer (type)	Output Shape	Param #
lstm_2 (LSTM)	(None, 12, 128)	67584
dropout_2 (Dropout)	(None, 12, 128)	0
lstm_3 (LSTM)	(None, 64)	49408
dropout_3 (Dropout)	(None, 64)	0
dense_1 (Dense)	(None, 1)	65

Total params: 117057 (457.25 KB)
Trainable params: 117057 (457.25 KB)
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)

Gambar 4. 11 Layer Model Yang digunakan

Gambar 4.11 menunjukkan arsitektur model *LSTM* Sequential yang terdiri dari dua lapisan LSTM dan dua lapisan Dropout untuk memproses data time series dengan 12 timesteps (look_back=12) dan 2 fitur input. Lapisan LSTM pertama memiliki 128 unit dengan return_sequences=True untuk mempertahankan urutan waktu dan menghasilkan output berbentuk (None, 12, 128), diikuti oleh Dropout 20% untuk regularisasi. Lapisan LSTM kedua memiliki 64 unit dengan return_sequences=False untuk mengembalikan hanya output akhir berbentuk (None, 64), lalu dilanjutkan dengan Dropout 20% lagi. Lapisan Dense terakhir dengan 1 unit digunakan untuk prediksi nilai tunggal (hasil_produksi). Total parameter model sebanyak 117,057 (457.25 KB) yang seluruhnya dapat dilatih, dengan loss function Huber untuk ketahanan terhadap outlier dan optimizer Adam untuk efisiensi pelatihan. Model ini dirancang untuk menangkap pola temporal kompleks sambil meminimalkan overfitting melalui mekanisme Dropout.

4.2.4 Pelatihan Model

Pada Subbab ini menjelaskan proses pelatihan model. Selama Pelatihan, nilai loss training (loss) dan validasi (val_loss) dimonitor, dimana keduanya menunjukkan penurunan signifikan di awal epoch dan stabil di akhir, mengindikasikan konvergensi model yang baik tanpa overfitting berkat kombinasi dropout (regularisasi) dan parameter yang tepat.

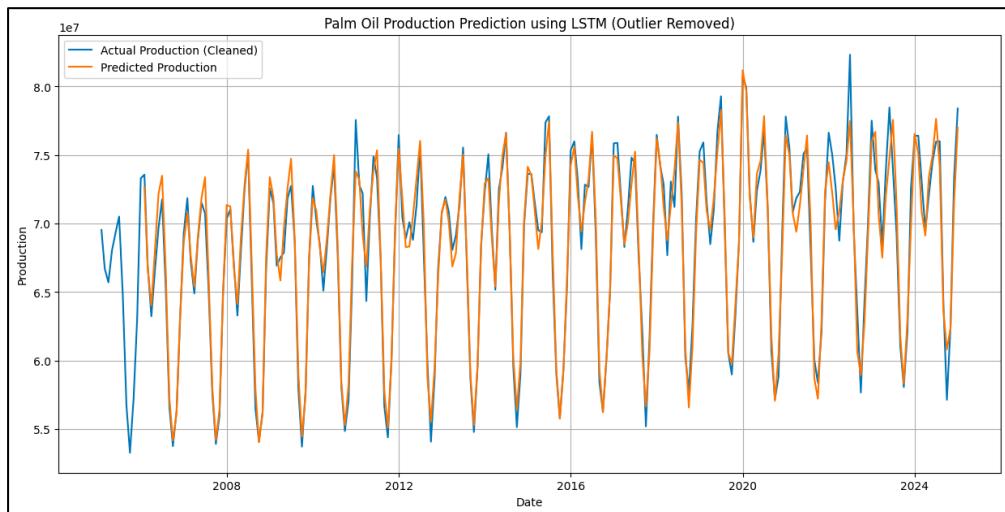
```

Epoch 1/300
46/46 [=====] - 2s 12ms/step - loss: 0.0399 - val_loss: 0.0364
Epoch 2/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0296 - val_loss: 0.0366
Epoch 3/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0269 - val_loss: 0.0238
Epoch 4/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0233 - val_loss: 0.0327
Epoch 5/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0198 - val_loss: 0.0138
Epoch 6/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0186 - val_loss: 0.0211
Epoch 7/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0160 - val_loss: 0.0138
Epoch 8/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0139 - val_loss: 0.0145
Epoch 9/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0118 - val_loss: 0.0205
Epoch 10/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0117 - val_loss: 0.0097
Epoch 11/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0102 - val_loss: 0.0117
Epoch 12/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0125 - val_loss: 0.0161
Epoch 13/300
...
Epoch 299/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 9.7301e-04 - val_loss: 0.0024
Epoch 300/300
46/46 [=====] - 0s 4ms/step - loss: 0.0013 - val_loss: 0.0024

```

Gambar 4. 12 Literasi pada Pelatihan Model

Gambar 4.12 menunjukkan proses pelatihan model LSTM selama 300 epoch dengan menggunakan batch size 4 dan 10% data validasi. Pada epoch awal (1-10), loss training (loss) turun secara signifikan dari 0.0399 menjadi 0.0102, sementara loss validasi (val_loss) berfluktuasi tetapi menunjukkan tren penurunan dari 0.0364 menjadi 0.0097, mengindikasikan model mulai mempelajari pola data dengan baik. Di pertengahan pelatihan, kedua metrik loss terus menurun secara stabil tanpa gap yang besar antara training dan validasi, menunjukkan tidak adanya overfitting. Pada epoch akhir (299-300), loss training mencapai nilai sangat kecil ($9.7301e-04$ dan 0.0013), sementara loss validasi stabil di 0.0024, yang mengkonfirmasi model telah konvergen dengan baik. Waktu pelatihan per epoch juga konsisten sekitar 4ms/step setelah epoch awal, menandakan proses komputasi yang efisien. Hasil ini menunjukkan model berhasil dioptimalkan dengan baik menggunakan Huber loss dan Adam optimizer, dengan kemampuan generalisasi yang baik terlihat dari nilai val_loss yang stabil dan rendah. Berikut grafik yang dihasilkan:



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Data Aktual dan Data Prediksi

4.3 Hasil Pengujian

Pada Subbab ini membahas 3 pengujian yang dilakukan pada sistem, yaitu pengujian Kinerja Model, *White Box*, dan *Black Box*

4.2.5 Evaluasi Model dengan MAE, RMSE, dan R² Score

Pada Bagian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan data Training dan Data Testing untuk melihat hasil Evaluasi dari model *LSTM* yang sudah dibangun. Evaluasi pada pengujian ini menggunakan tiga matriks yaitu *MAE*, *RMSE*, dan *R² Score*. Penggunaan tiga model ini berfungsi untuk memastikan model berjalan secara optimal atau tidak, yang dimana ketika nilai *MAE* rendah menunjukkan model yang lebih akurat, sama halnya dengan *RMSE* yang ketika nilai *RMSE* rendah, menunjukkan model yang ideal, dan berbeda dengan *R² Score*, yang dimana jika nilai *R² Score* mendekati angka 1 atau lebih, berarti model dapat menjelaskan sebagian besar varian data.

Train RMSE: 1201464.46
Train MAE: 933622.68
Test RMSE: 1918078.42
Test MAE: 1577550.17
Train R2 Score: 0.97
Test R2 Score: 0.91

Gambar 4. 14 Hasil Evaluasi Model denga MAE, RMSE, dan R2 Score

Gambar 4.14 menunjukkan hasil evaluasi mode dengan performa yang sangat baik dalam memprediksi data produksi kelapa sawit. Pada data training, model mencapai RMSE 1,201,464.46 dan MAE 933,622.68, sementara di data testing nilainya sedikit lebih tinggi dengan RMSE 1,918,078.42 dan MAE 1,577,550.17, yang masih tergolong baik untuk skala produksi kelapa sawit. Nilai R² score 0.97 (training) dan 0.91 (testing) mengindikasikan model mampu menjelaskan 97% variansi data training dan 91% variansi data testing, menunjukkan kemampuan generalisasi yang kuat dengan sedikit penurunan performa di data unseen. Selisih antara metrik training dan testing yang tidak terlalu besar (gap ~6% untuk R²) mengkonfirmasi tidak adanya overfitting, didukung oleh teknik regularisasi dropout sebelumnya. Konversi skala prediksi ke nilai asli menggunakan scaler_target.inverse_transform() memastikan interpretasi metrik dalam satuan produksi aktual (ton/hektar). Secara keseluruhan, model LSTM ini sangat efektif untuk prediksi time series produksi kelapa sawit.

4.2.6 Black Box

4.2.7 White Box

JADWAL KEGIATAN PENELITIAN

Tabel 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan																							
		Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan Data	■	■	■	■																				
2	Pengumpulan Data				■	■	■	■																	
3	Identifikasi Kebutuhan dan Analisis Sistem									■	■	■	■												
4	Perancangan Model													■	■	■									
5	Perancangan Sistem														■	■	■								
6	Implementasi Sistem																	■	■	■	■	■			
7	Testing																						■	■	■

Figure 1

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Yanto *et al.*, “JISA (Jurnal Informatika dan Sains) Penerapan Metode Inferensi Fuzzy Takagi Sugeno-Kang Untuk Prediksi Hasil Panen Kelapa Sawit,” vol. 02, no. 02, 2019.
- [2] F. Husaini, I. Permana, M. Afdal, and F. N. Salisah, “Penerapan Algoritma Long Short-Term Memory untuk Prediksi Produksi Kelapa Sawit,” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 2, pp. 366–374, Feb. 2024, doi: 10.57152/malcom.v4i2.1187.
- [3] Masykur, “PENGEMBANGAN INDUSTRI KELAPA SAWIT SEBAGAI PENGHASIL ENERGI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DAN MENGURANGI PEMANASAN GLOBAL (Studi di Riau Sebagai Penghasil Kelapa Sawit Terbesar di Indonesia),” Juli-Desember, 2013.
- [4] S. Habibi Nasution, C. Hanum, and J. Ginting, “PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) PADA BERBAGAI PERBANDINGAN MEDIA TANAM SOLID DECANTER DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA SISTEM SINGLE STAGE The Growth of Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedlings in Various Comparison of Media Solid Decanter and Oil Palm Empty Fruit Bunch at Single Stage System,” vol. 2, no. 2, pp. 691–701, 2014, [Online]. Available: <http://BPPT-HUMAS.ac.id.>,
- [5] S. Habibi Nasution, C. Hanum, and J. Ginting, “PERTUMBUHAN BIBIT KELAPA SAWIT (*Elaeis guineensis* Jacq.) PADA BERBAGAI PERBANDINGAN MEDIA TANAM SOLID DECANTER DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA SISTEM SINGLE STAGE The Growth of Palm Oil (*Elaeis guineensis* Jacq.) Seedlings in Various Comparison of Media Solid Decanter and Oil Palm Empty Fruit Bunch at Single Stage System,” vol. 2, no. 2, pp. 691–701, 2014, [Online]. Available: <http://BPPT-HUMAS.ac.id.>,
- [6] J. Homepage, A. Roihan, P. Abas Sunarya, and A. S. Rafika, “IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology) Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper,” 2019.
- [7] K. Smagulova and A. P. James, “A survey on LSTM memristive neural network architectures and applications,” *European Physical Journal: Special Topics*, vol. 228, no. 10, pp. 2313–2324, Oct. 2019, doi: 10.1140/EPJST/E2019-900046-X.
- [8] “RNN (Recurrent Neural Network): Cara Kerja dan Implementasi - Algoritma.” Accessed: Mar. 28, 2025. [Online]. Available: <https://algorit.ma/blog/rnn-adalah-2022/>
- [9] A. Khumaidi, R. Raafi, I. Permana Solihin, and J. Rs Fatmawati, “Pengujian Algoritma Long Short Term Memory untuk Prediksi Kualitas Udara dan Suhu Kota Bandung,” *Jurnal Telematika*, vol. 15, no. 1.
- [10] J. Cahyani, S. Mujahidin, and T. P. Fiqar, “Implementasi Metode Long Short Term Memory (LSTM) untuk Memprediksi Harga Bahan Pokok

- Nasional,” *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (JustIN)*, vol. 11, no. 2, p. 346, Jul. 2023, doi: 10.26418/justin.v11i2.57395.
- [11] “Jurnal 24 (Pengembangan dan Studi Progressive Web Apss)”.
- [12] S. Aripin and S. Somantri, “Implementasi Progressive Web Apps (PWA) pada Repository E-Portofolio Mahasiswa,” *Jurnal Eksplora Informatika*, vol. 10, no. 2, pp. 148–158, Mar. 2021, doi: 10.30864/eksplora.v10i2.486.
- [13] P. Dokumen, K. Kecamatan, and L. Kurniati, “Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem,” 2021. [Online]. Available: <https://journal-computing.org/index.php/journal-sea/index>
- [14] “Metode SDLC Dalam Pengembangan Software - Dicoding Blog.” Accessed: Apr. 09, 2025. [Online]. Available: <https://www.dicoding.com/blog/metode-sdlc/>