

PERANCANGAN SISTEM DISTRIBUSI NUTRISI IOT DAN PEMBANGUNAN MODEL *MACHINE LEARNING* BERBASIS DATA TELEMETRI CASSAVA

RAMLI RUMEON



PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Halqia
IPB University

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Perancangan Sistem Distribusi Nutrisi IoT dan Pembangunan Model *Machine Learning* Berbasis Data Telemetry *Cassava*.” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Ramli Rumeon
G6501222052

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

RAMLI RUMEON. Perancangan Sistem Distribusi Nutrisi IoT dan Pembangunan Model *Machine Learning* Berbasis Data Telemetri *Cassava*. Dibimbing oleh HERU SUKOCO dan HENDRA RAHMAWAN.

Penelitian ini berfokus pada tanaman *cassava* (*Manihot esculenta*), sebuah komoditas pertanian yang memegang peranan penting dalam menjaga ketahanan pangan. Di wilayah Jonggol, pertanian singkong menghadapi sejumlah tantangan, terutama terkait efisiensi penggunaan air dan pupuk. Sistem manajemen manual yang umumnya digunakan cenderung menyebabkan pemborosan sumber daya. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian dilakukan dengan tujuan utama membangun dan membandingkan beberapa model *Machine Learning* (ML) yang dapat memprediksi kesuburan lahan bagi tanaman *cassava*. Penelitian ini berlangsung di dua lokasi kebun, yaitu Kebun 1 dan Kebun 2, dimana lima algoritma *Machine Learning* (ML) diujicobakan, yaitu Support Vector Machine (SVM), XGBoost, Random Forest, K-Nearest Neighbors (KNN), dan Decision Tree. Penelitian dilakukan mulai dari bulan Maret 2024 hingga Maret 2025 di Kebun Pendidikan dan Penelitian IPB yang terletak di Kecamatan Jonggol Cileungsi, kabupaten Bogor.

Proses penelitian dimulai dengan pengumpulan data yang mencakup berbagai variabel pendukung, seperti kelembapan tanah, kalium, nitrogen, fosfor suhu tanah, EC, Ph tanah, kelembapan lingkungan, suhu lingkungan/suhu titik embun, temperature rata rata, curah hujan, penyinaran matahari, dan kecepatan angin. Data tersebut kemudian dipersiapkan melalui proses pembersihan untuk mengatasi masalah nilai hilang dan outlier, serta transformasi data agar sesuai untuk analisis lebih lanjut. Masing-masing algoritma diterapkan pada dataset yang telah di bagi untuk data latih dan data uji dengan proporsi 80% dan 20% untuk mendapatkan model terbaik dari lima model *Machine Learning*. Proses pelatihan dilakukan pada dua skenario yaitu: penerapan model sebelum dan setelah proses tuning dan dievaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Error (MAE)*, *Mean Squared Error (MSE)*, dan Koefisien Determinasi (R^2) yang bertujuan untuk menilai kinerja setiap model dalam memprediksi kesuburan lahan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum tuning, dua model terbaik yang teridentifikasi adalah SVM dan XGBoost. SVM dengan MAE (1,2378) dan R^2 (0,9987) dan XGBoost, dengan MAE (3,3873) dan R^2 (0,9807), meskipun XGBoost sedikit di bawah SVM. Kekuatan XGBoost terletak pada kemampuannya dalam menangani data yang tidak seimbang dan kompleksitas model, membuatnya sangat kompetitif. Setelah tuning, hasil menunjukkan bahwa hanya SVR yang tetap menjadi model terbaik pada dua lokasi (Kebun 1 dan 2) dengan MAE (1,3166) dan R^2 (0,9984) pada Kebun 1, sedangkan MAE (3,9015) dan R^2 (0,9724) pada Kebun 2. Kelebihan SVR terletak pada kemampuannya untuk menangkap pola yang kompleks dalam data, sehingga menghasilkan prediksi yang akurat meskipun dalam kondisi yang berbeda.

Kata kunci: *cassava*, IoT, kesuburan lahan, *support vector regression*, XGBoost.



SUMMARY

RAMLI RUMEON. Designing IoT Nutrition Distribution System and Building a *Machine Learning* Model Based on *Cassava* Telemetry Data. Supervised by HERU SUKOCO and HENDRA RAHMAWAN.

This research focuses on the cassava plant (*Manihot esculenta*), an agricultural commodity that plays an important role in maintaining food security. In the Jonggol area, cassava farming faces several challenges, especially related to the efficiency of water and fertilizer use. Commonly used manual management systems tend to lead to wastage of resources. To overcome this problem, the research was conducted with the main objective of building and comparing several *Machine Learning* (ML) models that can predict land fertility for cassava plants. This research took place in two garden locations, namely Garden 1 and Garden 2, where five *Machine Learning* (ML) algorithms were tested, namely Support Vector Machine (SVM), XGBoost, Random Forest, K-Nearest Neighbors (KNN), and Decision Tree. The research was conducted from March 2024 to March 2025 at the IPB Education and Research Garden located in Jonggol Cileungsi District, Bogor Regency.

The research process began with the collection of data covering various supporting variables, such as soil moisture, potassium, nitrogen, phosphorus, soil temperature, EC, soil Ph, environmental humidity, environmental temperature/dew point temperature, average temperature, rainfall, solar irradiation, and wind speed. The data is then prepared through a cleanup process to address the issues of missing and outlier values, as well as transforming the data to fit it for further analysis. Each algorithm was applied to a dataset that had been divided into training data and test data with a proportion of 80% and 20% to obtain the best model of the five *Machine Learning* models. The training process was carried out on two scenarios, namely: the application of the model before and after the tuning process and evaluated using the Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and Coefficient of Determination (R^2) metrics which aim to assess the performance of each model in predicting land fertility.

The results showed that before tuning, the two best models identified were SVM and XGBoost. SVM with MAE (1,2378) and R^2 (0,9987) and XGBoost, with MAE (3,3873) and R^2 (0,9807), although XGBoost is slightly below SVM. XGBoost's strength lies in its ability to handle unbalanced data and model complexity, making it highly competitive. After tuning, the results showed that only SVR remained the best model at two locations (Gardens 1 and 2) with MAE (1,3166) and R^2 (0,9984) in Garden 1, while MAE (3,9015) and R^2 (0,9724) in Garden 2. The advantage of SVR lies in its ability to capture complex patterns in data, resulting in accurate predictions even under different conditions.

Keywords: cassava, IoT, land fertility, support vector regression, XGBoost.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PERANCANGAN SISTEM DISTRIBUSI NUTRISI IOT DAN PEMBANGUNAN MODEL *MACHINE LEARNING* BERBASIS DATA TELEMETRI CASSAVA

RAMLI RUMEON

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Magister pada

Program Studi Ilmu Komputer

**PROGRAM MAGISTER ILMU KOMPUTER
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Dr. Aziz Kustiyo S.Si., M.Kom



Judul Tesis : Perancangan Sistem Distribusi Nutrisi IoT dan Pembangunan Model *Machine Learning* Berbasis Data Telemetry *Cassava*
Nama : Ramli Rumeon
NIM : G6501222052

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr.Eng. Heru Sukoco, S.Si., M.T.

Pembimbing 2:

Dr. Hendra Rahmawan, S.Kom., M.T.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Toto Haryanto, S.Kom., M.Si.

NIP 19821117 201404 1 001

Dekan Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika:

Prof. Dr. Ir. Agus Buono, M.Si., M.Kom.

NIP. 19660702 199302 1 001

Tanggal Ujian:

29 Juli 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Maret 2024 sampai bulan Maret 2025 ini ialah *Internet of Things*, dengan judul “Pengembangan Sistem Prediksi Kesuburan Lahan Tanaman *Cassava* Berbasis *Machine Learning*: Kerangka Kerja untuk Implementasi IoT”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Dr.Eng. Heru Sukoco, S.Si., M.T dan Dr. Hendra Rahmawan, S.Kom., M.T yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Suprihatin dan penguji luar komisi pembimbing Bapak Dr. Aziz Kustiyo S.Si., M.Kom. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah mendanai studi penulis melalui Program Hibah Riset RISPRO Invitation dengan nomor kontrak PRJ-31/LPDP/2021. Terima kasih juga disampaikan kepada Riset Inovatif Produktif (RISPRO) *cassava*, Tim WP 1, WP 2 dan WP 3 yang telah berkontribusi pada penelitian hingga selesai.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Ayah dan Ibu serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada dosen dan bagian administrasi Ilmu Komputer IPB University serta dosen Jurusan Matematika UNPATTI. Teman teman seperjuangan M.Kom Reguler 2022, Pejuang M.Kom, dan M.Gz Team terima kasih atas berbagai cerita dan pengalamannya selama masa studi. Teman teman TFD, Penulis mengucapkan terima kasih atas supportnya selama proses studi.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Ramli Rumeon

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Internet of Things</i> (IoT)	6
2.2 Data Telemetry	9
2.3 Parameter Data <i>Internet of Things</i> (IoT)	10
2.4 <i>Machine Learning</i> (ML)	14
2.5 <i>Cassava</i> (Manihot Esculenta)	23
2.6 Sistem Irigasi	28
III METODE	31
3.1 Pendekatan Sistem	31
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.3 Data	32
3.4 Tahapan Penelitian	32
3.5 Lingkup Pengembangan	36
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Deskripsi Sistem	37
4.2 Arsitektur Sistem	38
4.3 Spesifikasi Sistem	40
4.4 Hasil Perancangan	41
4.5 Desain dan Implementasi	43
4.6 Pengambilan Data	44
4.7 Persiapan Data	45
4.8 Pemilihan Fitur	47
4.9 Pembagian Data	48
4.10 Pemodelan <i>Machine Learning</i>	48
4.11 Pemodelan untuk Kebun 1	48
4.12 Pemodelan untuk Kebun 2	52
4.13 <i>Hyperparameter tuning</i>	55
4.14 Model Evaluation (Evaluasi Model)	60
V SIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Simpulan	63
5.2 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	65
RIWAYAT HIDUP	72



DAFTAR TABEL

1. Sensor	8
2. Penelitian Penggunaan <i>Internet of Things</i> (IoT)	12
3. Penelitian aplikasi <i>Machine Learning</i> untuk kesehatan tanah	23
4. Kebutuhan pupuk per tanaman tiap aplikasi untuk populasi 10.000 tanaman per hektar.	27
5. Komponen sistem irigasi tetes	28
6. Alat yang digunakan	37
7. Material Pendukung	38
8. Penjelasan bagian sistem dan sub sistem	39
9. Spesifikasi sistem	40
10. Parameter kelembapan tanah dan unsur hara	45
11. Jumlah data per lokasi	45
12. Tipe data kebun 1	46
13. Tipe data kebun 2	46
14. Hasil identifikasi missing value (a) Kebun 1, (b) Kebun 2	47
15. Metrik evaluasi model kebun 1 sebelum tuning parameter	61
16. Metrik evaluasi model kebun 2 sebelum tuning parameter	61
17. Metrik evaluasi model kebun 1 setelah tuning parameter	62
18. Metrik evaluasi model kebun 2 setelah tuning parameter	62

DAFTAR GAMBAR

1. Arsitektur IoT empat <i>tier</i>	7
2. Perbandingan berbagai protokol komunikasi	9
3. LoRa <i>network</i>	10
4. Model definisi pembelajaran mesin.	15
5. Struktur Random Forest Regressor, modifikasi	16
6. Model <i>Support Vector Machine</i> (SVM) pada kernel linier.	17
7. Diagram struktur algoritma XGBoost	20
8. Bentuk umum dari pohon keputusan.	22
9. Curah hujan konsisten sepanjang tahun	24
10. Curah hujan dengan enam bulan kemarau	24
11. Sifat Morfologi <i>Cassava</i>	25
12. Aspek Karakteristik Morfologi <i>Cassava</i>	26
13. Perkembangan luas panen <i>cassava</i> di indonesia	26
14. Provinsi sentra luas panen <i>cassava</i> di indonesia	27
15. Komponen-komponen penyusun sistem irigasi tetes	29
16. Lokasi pelaksanaan penelitian	32
17. Tahapan penelitian	32
18. Desain dan Arsitektur CassMaTech	34
19. Arsitektur Sistem	39
20. Blok diagram	42
21. Diagram Alir Sistem	42

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



22. Desain dan Implementasi Sistem Distribusi Nutrisi Berbasis IoT	43
23. Lokasi Pengambilan data sensor	45
24. Heatmap korelasi fitur numerik	48
25. Plot metrik evaluasi SVM	49
26. Plot metrik evaluasi XGBoost	50
27. Plot metrik evaluasi Random Forest	50
28. Plot metrik evaluasi <i>K-Nearest Neighbors</i>	51
29. Plot metrik evaluasi <i>Decision Tree</i>	52
30. Plot metrik evaluasi SVR	52
31. Plot metrik evaluasi XGBoost	53
32. Plot metrik evaluasi Random Forest	54
33. Plot metrik evaluasi <i>K-Nearest Neighbors</i>	54
34. Plot metrik evaluasi Decision Tree	55
35. Grafik pengujian model SVM Kebun 1	56
36. Grafik pengujian model SVM Kebun 2	56
37. Grafik pengujian model XGBoost Kebun 1	57
38. Grafik pengujian model XGBoost Kebun 2	57
39. Grafik pengujian model Random Forest Kebun 1	58
40. Grafik pengujian model Random Forest Kebun 2	58
41. Grafik pengujian model <i>K-Nearest Neighbors</i> Kebun 1	59
42. Grafik pengujian model <i>K-Nearest Neighbors</i> Kebun 2	59
43. Grafik pengujian model Decision Tree Kebun 1	60
44. Grafik pengujian model Decision Tree Kebun 2	60

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.