



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**SISTEM MONITORING DAN KLASIFIKASI
KUALITAS TANAH BERBASIS *INTERNET OF
THINGS* DAN KECERDASAN BUATAN UNTUK
MENDUKUNG PERTANIAN PRESISI**

Sub-Judul:

**Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah
Menggunakan Metode *Random Forest* Berbasis *Edge
Computing***

SKRIPSI

**RADEN MUHAMMAD FADIL AZHAR
2207421005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN
JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN
KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**SISTEM MONITORING DAN KLASIFIKASI
KUALITAS TANAH BERBASIS *INTERNET OF
THINGS* DAN KECERDASAN BUATAN UNTUK
MENDUKUNG PERTANIAN PRESISI**

Sub-Judul:

**Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah
Menggunakan Metode *Random Forest* Berbasis *Edge
Computing***

SKRIPSI
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**Dibuat untuk Melengkapi Syarat-Syarat yang diperlukan
untuk Memperoleh Diploma Empat Politeknik**

RADEN MUHAMMAD FADIL AZHAR

2207421005

**PROGRAM STUDI TEKNIK MULTIMEDIA DAN
JARINGAN
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN
KOMPUTER
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Raden Muhammad Fadil Azhar
NIM : 2207421005
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer/Teknik
Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah
Menggunakan Metode *Random Forest* Berbasis *Edge Computing*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri, bebas dari peniruan terhadap karya dari orang lain. Kutipan pendapat dan tulisan orang lain ditunjuk sesuai dengan cara-cara penulisan karya ilmiah yang berlaku.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa dalam skripsi ini terkandung ciri – ciri plagiat dan bentuk – bentuk peniruan lain yang dianggap melanggar peraturan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 15 Juni 2026

Yang membuat pernyataan



Raden Muhammad Fadil Azhar

NIM. 2207421005



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Raden Muhammad Fadil Azhar
NIM : 2207421005
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Menggunakan Metode *Random Forest* Berbasis *Edge Computing*

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari ~~Pada~~ Tanggal 19, Bulan Juni Tahun 2026 dan dinyatakan LULUS

Disahkan oleh:

Pembimbing I : Maria Agustin, S.Kom., M.Kom.
Penguji I : Dr. Indra Hermawan, S.Kom., M.Kom.
Penguji II : Susana Dwi Yulianti, M.Kom.
Penguji III : Dwi Ermawati, M.T.

(Maria Agustin)
(Dr. Indra Hermawan)
(Susana Dwi Yulianti)
(Dwi Ermawati)

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua



Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.

NIP. 197908032003122003



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat, rida, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Menggunakan Metode *Random Forest* Berbasis *Edge Computing*" dengan baik dan lancar.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan (Diploma Empat) pada Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa proses penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, saran, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Maria Agustin, S.Kom., M.Kom, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, serta evaluasi yang sangat berharga sejak awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Indra Hermawan, S.Kom., M.Kom, selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Multimedia dan Jaringan, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan kepada penulis untuk menyusun skripsi ini.
3. Keluarga dan kedua orang tua tercinta, teristimewa untuk ibu saya, atas segala doa yang tak pernah putus, dukungan moral, serta fasilitas yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan ini.
4. Kakak saya, Tasya Diah Anggraeni, atas segala bentuk dukungan, perhatian, dan semangat yang senantiasa diberikan kepada penulis.
5. Dr. Ir. Junita Barus, M.Si, selaku pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, masukan, serta bantuan selama proses pelaksanaan penelitian di lapangan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6. Stephanie Meissya Permata Asri Tarigan, yang selalu memberikan dukungan emosional, mendengarkan keluh kesah, serta tiada hentinya menyemangati penulis di setiap fase penyusunan penelitian ini.
7. Teman saya Muhammad Ilham Utama dan Bayu Dwi Setianto, yang telah menemani perjalanan ini.
8. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknik Multimedia dan Jaringan angkatan 2022, atas kebersamaan, diskusi, dan bantuan yang saling melengkapi selama menempuh masa perkuliahan.
9. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan dan pengembangan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, wawasan, serta kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang *Internet of Things* dan kecerdasan buatan dalam mendukung sektor pertanian presisi di Indonesia.

Depok, 15 Juni 2026

Raden Muhammad Fadil Azhar
NIM. 2207421005

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Raden Muhammad Fadil Azhar
NIM : 2207421005
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer/Teknik
Multimedia dan Jaringan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Menggunakan Metode
Random Forest Berbasis *Edge Computing***

Berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta Berhak menyimpan, mengalihmediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Depok, 15 Juni 2026

Yang menyatakan



Raden Muhammad Fadil Azhar

NIM.2207421005

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Menggunakan Metode Random Forest Berbasis Edge Computing

ABSTRAK

Ketahanan pangan dan pertanian presisi menuntut adanya pengelolaan lahan berbasis pemantauan dan analisis kualitas tanah secara seketika (*real-time*). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem monitoring dan klasifikasi tingkat kesuburan tanah berbasis Internet of Things (IoT) dan kecerdasan buatan dengan pendekatan edge computing. Sistem akuisisi data dibangun menggunakan sensor tanah 7-in-1 untuk mengukur parameter derajat keasaman (pH), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), dan Electrical Conductivity (EC), yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Untuk melakukan klasifikasi lima tingkat kesuburan tanah berdasarkan standar kelayakan Balittanah, penelitian ini mengevaluasi kinerja algoritma Random Forest, Support Vector Machine (SVM), XGBoost, dan Neural Network. Model terbaik selanjutnya dikonversi menjadi format bahasa C/C++ menggunakan pustaka micromlgen (TinyML) agar dapat dieksekusi langsung pada ESP32 tanpa bergantung pada komputasi cloud. Hasil evaluasi komparatif menggunakan Stratified 6-Fold Cross-Validation menunjukkan bahwa algoritma Random Forest memiliki performa klasifikasi tertinggi dengan akurasi 99,85%. Melalui penerapan hyperparameter tuning, kompleksitas model sukses direduksi sehingga ukuran file menyusut sebesar 79,2% menjadi 27,97 KB. Hal ini membuat model sangat ringan karena hanya mengonsumsi 0,68% memori flash mikrokontroler dengan rata-rata waktu inferensi yang sangat cepat, yakni 0,0000412 detik. Infrastruktur jaringan berbasis protokol MQTT menuju basis data Supabase juga terbukti andal dengan rata-rata latensi pengiriman 0,79 detik serta tahan terhadap gangguan koneksi (*fault tolerance*). Secara keseluruhan, sistem cerdas ini berhasil diimplementasikan secara end-to-end yang dihubungkan dengan antarmuka aplikasi mobile berbasis Capacitor Progressive Web App (PWA) untuk menyajikan data pemantauan, klasifikasi AI, serta rekomendasi tindakan secara akurat dan *real-time*.

Kata Kunci: Edge Computing, Internet of Things, Kecerdasan Buatan, Kualitas Tanah, Machine Learning, Random Forest

Hak Cipta :

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



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan Penelitian.....	4
1.4.2 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	8
2.1 Penelitian Terkait.....	8
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Pertanian Presisi (<i>Precision Agriculture</i>).....	11
2.2.2 Internet of Things (IoT) dalam Pertanian.....	12
2.2.3 Edge Computing dan TinyML	12
2.2.4 Parameter Kualitas Tanah.....	13



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2.2.5	Kecerdasan Buatan dan <i>Machine Learning</i>	15
2.2.6	Algoritma Klasifikasi	17
2.2.7	Evaluasi Model Klasifikasi	19
2.2.8	<i>Cross-Validation</i>	20
2.2.9	Evaluasi Kinerja <i>Edge Computing</i>	21
2.2.10	Evaluasi Sistem dan Aplikasi <i>Mobile</i>	22
2.2.11	<i>Backend-as-a-Service</i> (BaaS) dan Supabase	23
2.2.12	<i>Progressive Web App (PWA)</i> dan Capacitor	23
BAB III		24
3.1	Rancangan Penelitian	24
3.2	Tahapan Penelitian	25
3.3	Objek Penelitian	26
BAB IV		27
4.1	Analisis Kebutuhan Sistem	27
4.1.1	Analisis Kebutuhan Data	27
4.1.2	Analisis Kebutuhan Fungsional	27
4.1.3	Analisis Kebutuhan Non-Fungsional	28
4.1.4	Analisis Kebutuhan Perangkat Keras	28
4.1.5	Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak	29
4.2	Perancangan Sistem	30
4.2.1	Arsitektur Sistem	30
4.2.2	Perancangan Alur Komunikasi Data	32
4.2.3	Perancangan Hardware	34
4.2.4	Perancangan Server	34
4.2.5	Alur Kerja Pengembangan Model AI dan Aplikasi	35
4.2.6	Perancangan Proses Pelabelan Data	37



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

4.2.7	Perancangan Algoritma Klasifikasi dan Rekomendasi Tindakan	38
4.2.8	Perancangan Database dan Antarmuka Aplikasi.....	39
4.3	Implementasi Sistem	42
4.3.1	Implementasi Hardware	42
4.3.2	Implementasi Pengumpulan Data	44
4.3.3	Implementasi Pra-pemrosesan Data	45
4.3.4	Implementasi Pelatihan dan Komparasi Model	48
4.3.5	Implementasi <i>Hyperparameter Tuning</i>	52
4.3.6	Implementasi <i>Edge Computing</i> (<i>Deployment Model</i> ke ESP32).....	55
4.3.7	Implementasi Server.....	57
4.3.8	Implementasi Aplikasi <i>Mobile</i>	57
4.4	Pengujian Sistem.....	59
4.4.1	Deskripsi Pengujian	59
4.4.2	Prosedur Pengujian	60
4.4.3	Data Hasil Pengujian.....	60
BAB V.....		66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait	8
Tabel 2.2 Analisis Perbandingan Kuantitatif Penelitian	10
Tabel 4.1 Kebutuhan Perangkat Keras	29
Tabel 4.2 Kebutuhan Perangkat Lunak	29
Tabel 4.3 Rancangan Logika Rekomendasi Berbasis Defisiensi Nutrisi	39
Tabel 4.4 Contoh Raw Data Hasil Pembacaan Sensor Tanah	44
Tabel 4.5 Perbandingan Performa Algoritma pada 6-Fold Cross-Validation	49
Tabel 4.6 Parameter Terbaik Hasil GridSearchCV (Stratified 6-Fold CV)	52
Tabel 4.7 Hasil Evaluasi Tuned Random Forest	53
Tabel 4.8 Hasil Evaluasi Performa Model Klasifikasi	61
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Komparasi Model 5 Parameter vs 4 Parameter	61
Tabel 4.10 Pengujian Komparasi Kinerja Model	62
Tabel 4.11 Hasil Pengujian Fungsionalitas Edge Computing (ESP32)	62
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Penggunaan Memori ESP32	63
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Waktu Inferensi Kecerdasan Buatan	63
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Transmisi Data	64
Tabel 4.15 Hasil Pengujian Sinkronisasi dan Latensi Forwarding Data	64
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Fungsionalitas Aplikasi Mobile	65

Hak Cipta :

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



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Tahapan Penelitian	25
Gambar 4.1 Arsitektur Sistem	30
Gambar 4.2 Flowchart Alur Komunikasi Data	32
Gambar 4.3 Arsitektur Server	34
Gambar 4.4 Rancangan Skema Database	40
Gambar 4.5 Rancangan Antarmuka Pengguna Aplikasi Mobile	41
Gambar 4.6 Implementasi Hardware pada Lahan Pertanian	43
Gambar 4.7 Proses Pengumpulan Data	44
Gambar 4.8 Grafik Elbow dan Silhouette Score pada Algoritma K-Means	46
Gambar 4.9 Heatmap Centroid Parameter Kualitas Tanah	47
Gambar 4.10 Distribusi Kelas Kesuburan Tanah	48
Gambar 4.11 Tren Stabilitas Akurasi	50
Gambar 4.12 Confusion Matrix Model Random Forest	51
Gambar 4.13 Confusion Matrix Model Random Forest Setelah Tuning	53
Gambar 4.14 Perbandingan Beban Memori Model Sebelum dan Sesudah Tuning	54
Gambar 4.15 Feature Importance pada Model Final Random Forest	55
Gambar 4.16 Hasil Inferensi AI pada Serial Monitor	56
Gambar 4.17 Hasil Implementasi Penyimpanan Data Sensor pada Supabase	57
Gambar 4.18 Tampilan Antarmuka Aplikasi Mobile	58

Hak Cipta :

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

Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Ketahanan pangan nasional menuntut pengelolaan lahan pertanian yang tidak hanya bergantung pada pemantauan kondisi tanah secara aktual, tetapi juga pada kemampuan untuk menganalisis dan menentukan status kualitas tanah secara berkelanjutan (Wulandari & Astiko, 2025).

Informasi kondisi tanah yang bersifat *real-time* sangat penting, namun tanpa adanya analisis lanjutan, petani masih cenderung melakukan pengelolaan lahan secara reaktif, seperti pemupukan dan pengolahan tanah yang dilakukan setelah muncul permasalahan pada tanaman.

Kondisi kualitas tanah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain pola pemupukan, curah hujan, sistem irigasi, serta aktivitas budidaya tanaman. Perubahan parameter tanah yang terjadi secara bertahap sering kali sulit diidentifikasi hanya melalui pengamatan data secara manual. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan komputasi yang mampu mengolah data sensor, mengidentifikasi pola hubungan antar-parameter tanah, serta mengklasifikasikan kondisi tanah.

Perkembangan sistem monitoring kualitas tanah berbasis *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pengumpulan data parameter tanah secara kontinu, seperti pH, kandungan nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan *electrical conductivity* (EC). Data sensor yang tersimpan secara berkala menghasilkan kumpulan data historis yang berpotensi besar untuk dianalisis lebih lanjut. Namun, pada praktiknya, data tersebut umumnya masih disajikan dalam bentuk visualisasi sederhana tanpa pemanfaatan metode analisis yang mampu menghasilkan informasi diagnosis status tingkat kesuburan tanah bagi pengguna.

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengintegrasikan IoT dan kecerdasan buatan dalam pertanian, namun masih terdapat berbagai batasan. Penelitian oleh Sharafat et al. (2025) berhasil memprediksi kondisi tanah



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

menggunakan beberapa algoritma, namun memiliki batasan tingkat klasifikasi karena hanya mengevaluasi satu parameter ukur, yaitu suhu tanah. Pendekatan lain oleh Cheema & Pires (2025) lebih berfokus pada pengembangan *hardware* sensor elektrokimia untuk deteksi nutrisi tanpa pemodelan klasifikasi yang komprehensif. Penelitian Munezero et al. (2024) menggunakan *Decision Tree* dan *Random Forest* untuk klasifikasi NPK dengan akurasi 90-96,5%, namun belum mencakup analisis parameter kualitas tanah secara menyeluruh seperti *electrical conductivity*. Sementara itu, penelitian Shahare et al. (2023) yang mencapai tingkat akurasi 98% masih bergantung pada pengujian sampel tanah di laboratorium, bukan pemrosesan *real-time* di lapangan. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian tersebut memiliki kekurangan pada terbatasnya parameter tingkat kesuburan yang dianalisis, serta belum mengimplementasikan kecerdasan buatan pada perangkat keras.

Untuk mengatasi permasalahan kompleksitas dan keterbatasan parameter tersebut, diperlukan sebuah tahapan untuk mencari model klasifikasi yang tidak hanya memiliki tingkat akurasi tinggi, tetapi juga arsitektur komputasi yang ringan. Hal ini dicapai dengan melakukan evaluasi dan komparasi kinerja terhadap empat algoritma *Machine Learning*, yaitu *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), *XGBoost*, dan *Neural Network*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi tertinggi dalam mengklasifikasikan kelima parameter tanah secara bersamaan, sekaligus memastikan bahwa model yang terpilih dapat diekstrak menjadi sangat ringan agar kompatibel untuk ditanamkan ke dalam mikrokontroler.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada penerapan model kecerdasan buatan untuk klasifikasi dan analisis tingkat kesuburan tanah berbasis data sensor IoT. Model yang dikembangkan diharapkan mampu mengklasifikasi status kesuburan tanah secara *real-time*, membantu interpretasi kondisi tanah secara lebih komprehensif, serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan pertanian padi secara lebih efektif, dan efisien. Agar informasi diagnosis dan klasifikasi tersebut dapat diakses dengan mudah dan dikelola secara efisien, diperlukan sistem



Hak Cipta :

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

penyimpanan data yang serta antarmuka pengguna yang praktis. Oleh karena itu, penelitian ini juga mengintegrasikan penggunaan Supabase sebagai layanan *backend* untuk manajemen *database* secara *real-time*, serta pengembangan antarmuka berupa aplikasi *mobile* berbasis Capacitor *Progressive Web App* (PWA). Dengan adanya integrasi ini, pengguna atau petani dapat memantau kondisi lahan dan menerima rekomendasi pengelolaan pertanian di mana saja secara fleksibel melalui perangkat *mobile*.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana mengembangkan sistem cerdas berbasis *edge computing* yang mampu melakukan pemantauan dan klasifikasi tingkat kesuburan tanah secara *real-time*?
2. Bagaimana mengintegrasikan perangkat *edge computing*, dan algoritma kecerdasan buatan dalam satu sistem yang mampu memberikan informasi tingkat kesuburan tanah secara otomatis?
3. Bagaimana memperoleh model kecerdasan buatan yang memiliki akurasi tinggi namun tetap ringan sehingga dapat dijalankan pada perangkat *edge computing* dengan sumber daya terbatas?
4. Bagaimana mengevaluasi performa sistem yang dikembangkan berdasarkan parameter akurasi klasifikasi, waktu respons, efisiensi penggunaan sumber daya komputasi, dan keandalan sistem di lingkungan pertanian?
5. Bagaimana merancang dan mengintegrasikan sistem *backend* menggunakan Supabase serta antarmuka aplikasi *mobile* berbasis Capacitor PWA untuk menyajikan data monitoring dan hasil klasifikasi tingkat kesuburan tanah kepada *pengguna*?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan tidak meluas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian dibatasi pada pengolahan data historis hasil pengukuran *Internet of Things* (IoT) secara *real-time* di lahan pertanian padi wilayah



Hak Cipta :

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

Kabupaten Bogor dengan parameter ukur meliputi pH, Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), dan *Electrical Conductivity* (EC), di mana klasifikasinya difokuskan pada lima kelas tingkat kesuburan berdasarkan standar kelayakan Balittanah beserta rekomendasi pengelolaannya

2. Penelitian ini berfokus pada arsitektur *software* (tidak membahas perancangan sirkuit perangkat keras secara mendetail), di mana implementasi *edge computing* untuk mengeksekusi sistem klasifikasi secara otomatis dibatasi pada penggunaan mikrokontroler ESP32.
3. Algoritma *Machine Learning* yang diterapkan dan dikomparasikan untuk mendapatkan model kecerdasan buatan meliputi *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), *XGBoost*, dan *Neural Network*, di mana model terbaik akan dikonversi menggunakan pustaka *micromlgen* agar berukuran ringan dan kompatibel ditanamkan pada perangkat *edge*.
4. Evaluasi performa dari masing-masing model klasifikasi dibatasi pada penggunaan metrik pengujian *Confusion Matrix* yang meliputi Akurasi, Presisi, Recall, dan F1-Score.
5. Pengembangan antarmuka pengguna difokuskan pada pembuatan aplikasi *mobile* menggunakan *framework Capacitor* berbasis *Progressive Web App* (PWA) terintegrasi dengan layanan *backend* Supabase, yang fungsionalitasnya dibatasi hanya sebagai media pemantauan kondisi lahan, visualisasi klasifikasi, dan penyajian rekomendasi, tanpa adanya fitur kontrol aktuator jarak jauh.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

1. Mengembangkan sistem cerdas terintegrasi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *edge computing* yang mampu melakukan akuisisi, pemantauan, serta klasifikasi tingkat kesuburan tanah menggunakan kecerdasan buatan secara *real-time* di lokasi pengukuran untuk mendukung pertanian presisi.
2. Mengevaluasi kinerja sistem yang dikembangkan berdasarkan parameter akurasi klasifikasi, *precision*, *recall*, *F1-score*, waktu



Hak Cipta :

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

respons (*latency*), penggunaan memori, konsumsi daya, dan efisiensi transmisi data.

3. Menghasilkan prototipe sistem klasifikasi tingkat kesuburan tanah yang dapat digunakan sebagai pendukung pengambilan keputusan dalam penerapan pertanian presisi
4. Membangun dan mengintegrasikan sistem *backend* (Supabase) dengan aplikasi *mobile* (Capacitor PWA) sebagai media penyajian data pemantauan dan hasil klasifikasi kualitas tanah secara *real-time*.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi teknologi cerdas (*Smart Farming*) bagi petani berupa sistem yang mampu memproses data klasifikasi secara mandiri (*on-device*) di lahan, sehingga informasi kesuburan tanah dapat diketahui secara cepat, menghemat *bandwidth*, dan meminimalisasi ketergantungan pada *cloud computing*.
2. Menambah referensi akademis dan menjadi dasar penelitian lanjutan terkait keandalan *Machine Learning* pada perangkat bersumber daya terbatas (*TinyML*), dengan menyediakan bukti empiris mengenai tingkat akurasi, efisiensi memori, dan latensi komputasi.
3. Membantu petani melalui sistem pendukung keputusan untuk menentukan tindakan agronomi (seperti pemupukan) yang lebih presisi, mengurangi risiko gagal panen akibat malnutrisi tanah, dan berpotensi meningkatkan produktivitas hasil pertanian.
4. Meningkatkan efisiensi pemantauan dengan memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengakses kondisi *real-time* lahan, riwayat data historis, serta rekomendasi secara fleksibel dari mana saja melalui integrasi aplikasi *mobile* dan *database cloud*.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan skripsi ini disusun sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab I membahas mengenai latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab II berisikan tinjauan pustaka dan landasan teori atau kajian ilmu secara garis besar mengenai topik permasalahan pada penelitian ini, seperti beberapa penelitian – penelitian terdahulu berkaitan pada isu relevan.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Bab III menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi rancangan penelitian, tahapan penelitian, dan objek penelitian.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV menjelaskan tentang analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, dan pengujian sistem yang terdiri dari deskripsi pengujian dan data hasil pengujian.

5. Bab V Penutup

Bab V berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk pengembangan sistem monitoring dan klasifikasi kualitas tanah pada penelitian selanjutnya.

Hak Cipta :

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

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring dan klasifikasi kualitas tanah yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem cerdas berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *edge computing* telah berhasil dikembangkan untuk memantau dan mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah secara *real-time* guna mendukung pertanian presisi. Melalui implementasi teknologi *Tiny Machine Learning* (TinyML) menggunakan pustaka *micromlgen*, algoritma Kecerdasan Buatan sukses ditanamkan ke dalam mikrokontroler ESP32 sehingga proses klasifikasi dapat dieksekusi langsung di lokasi pengukuran (*on-device inference*).
2. Berdasarkan hasil komparasi model *Machine Learning* yang dilakukan, algoritma *Random Forest* menunjukkan performa terbaik dibandingkan algoritma lainnya dengan tingkat akurasi sebesar 99,85% serta stabilitas yang tinggi berdasarkan pengujian *Stratified 6-Fold Cross-Validation*.
3. Proses *hyperparameter tuning* pada model *Random Forest* berhasil menciptakan model yang sangat ringan. Kompleksitas pohon keputusan berhasil direduksi sehingga ukuran file model menyusut sebesar 79,2% (dari 134,22 KB menjadi 27,97 KB) tanpa mengorbankan performa klasifikasi.
4. Kinerja perangkat *edge computing* (ESP32) terbukti efisien, di mana arsitektur model AI hanya membebani sekitar 0,68% dari kapasitas total *Flash Memory* mikrokontroler. Waktu respons sistem (latensi inferensi) juga sangat cepat, dengan rata-rata pemrosesan 0,0000412 detik per eksekusi, serta stabil beroperasi tanpa mengalami kegagalan memori (*out-of-memory*).
5. Integrasi antara *backend* Supabase dan aplikasi *mobile* berbasis *Capacitor Progressive Web App* (PWA) berjalan dengan sukses. Aplikasi mampu menarik data (*fetch*) dan memvisualisasikan kondisi riwayat



Hak Cipta :

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

lahan, diagnosis klasifikasi AI, serta rekomendasi tindakan agrikultur secara seketika (*real-time*), lengkap dengan kemampuan *responsive*.

6. Meskipun algoritma *Random Forest* menunjukkan performa klasifikasi yang baik, penelitian ini memiliki batasan di mana model dilatih dan dioptimalkan secara spesifik menggunakan dataset historis dari karakteristik tanah sawah di wilayah Kabupaten Bogor. Oleh karena itu, kemampuan generalisasi model terhadap jenis tanah dan kondisi geografis di wilayah lain masih memerlukan pengujian lebih lanjut

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Menambahkan parameter kualitas tanah lainnya seperti kandungan bahan organik (C-Organik), maupun unsur hara lainya agar model dapat menghasilkan analisis kesuburan tanah yang lebih komprehensif.
2. Diperlukan penelitian lanjutan mengenai metode kalibrasi atau konversi nilai ukur yang lebih presisi untuk semua parameter, khususnya parameter Nitrogen (N). Karena sensor portabel umumnya membaca N-Tersedia.
3. Menambahkan fitur prediksi kondisi tanah dan rekomendasi pemupukan berbasis kecerdasan buatan sehingga sistem tidak hanya melakukan klasifikasi, tetapi juga mampu memberikan rekomendasi tindakan yang lebih spesifik.
4. Karena penelitian ini masih sebatas memonitor data dan memberikan rekomendasi (*decision support system*), pengembangan tahap selanjutnya dapat diintegrasikan dengan aktuator fisik di lapangan. Contohnya, aktuator pengontrol sistem irigasi pupuk cair otomatis (*fertigation*) yang bekerja sesuai output kelas kesuburan yang diputuskan oleh ESP32.
5. Jalur transmisi MQTT dan API yang menuju layanan Supabase ke depannya dapat diperkuat menggunakan standar keamanan lanjutan (seperti TLS/SSL, *payload encryption*, maupun sistem autentikasi di



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

dalam PWA). Hal ini perlu diterapkan jika data kualitas lahan akan diakses dalam skala komersial oleh banyak kelompok tani.

6. Melakukan pengujian pada berbagai jenis lahan dan kondisi lingkungan yang berbeda untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model klasifikasi sehingga sistem dapat diterapkan pada wilayah pertanian yang lebih luas.



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- Alfassa, A. I., Zhafira, A., Sifa, R. Y., Sari, E. K., Indriani, N., & Hidayah, N. (2025). Literature Review: Pemanfaatan Internet of Things (IoT) di Sektor Pertanian, Peternakan, dan Perikanan. *Jurnal Perangkat Lunak*, 7(2), 198-209. <https://doi.org/10.32520/jupel.v7i2.4237>
- Allen, J., Liu, H., Iqbal, S., Zheng, D., & Stansby, G. (2021). Deep learning-based photoplethysmography classification for peripheral arterial disease detection: A proof-of-concept study. *Physiological Measurement*, 42(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6579/abf9f3>
- Anggreni, Norma Vitasari. (2024). Implementasi Pertanian Presisi dalam Meningkatkan Efisiensi Produksi. Halaman 1-9.
- Bougiouklis, J. N., Barouchas, P. E., Petropoulos, P., Tsesmelis, D. E., & Moustakas, N. (2025). Precision soil sampling strategy for the delineation of management zones in olive cultivation using unsupervised machine learning methods. *Scientific Reports*, 15, 8253. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-89395-1>
- Cheema, S. M., & Pires, I. M. (2025). AIoT based soil nutrient analysis and recommendation system for crops using machine learning. *Smart Agricultural Technology*, 11, 100924. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100924>
- Eviati, Sulaeman, Herawaty, L., Anggria, L., Usman, Tantika, H. E., Prihatini, R., & Wuningrum, P. (2023). Petunjuk Teknis Edisi 3: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Gobel, Sitty Sofia., Nurmi., dan Zulzain Ilahude. (2025). Analisis Kadar Hara Makro (N, P, K), C-Organik Pada Lahan Sawah Dan Tegalan Di Desa Dutohe Kecamatan Kabila. *Jurnal Lahan Pertanian Tropis (JLPT)*. Volume 4, Nomor 1, Halaman 203-209. doi.org/10.56722/jlpt.v4i1.30034



Hak Cipta :

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

- Hermawan, I., Agustin, M., Zain, A.R., Mulyani, M.T. dan Nathanael, D. (2023). Rice Seedling Image Classification Using Light Convolutional Neural Network. *Khazanah Informatika: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 9(2), pp.111-119.
- Kurniawan, A., & Saputra, D. (2023). Analisis Performa dan Implementasi Progressive Web App (PWA) pada Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 10(2), 215-224.
- Laiu, Paul., et al. (2025). Designing Resilient IoT and Edge Computing with Federated TinyML (DRIFT). *Preprint submitted to Journal of Systems Architecture*. Halaman 1-34. SSRN: <https://ssrn.com/abstract=5430788>
- Munezero, A., Uwitonze, A., Kayalvizhi, J., Maniriho, C., Niyitegeka, J., & Ndorimana, P. (2024). Machine Learning and Internet of Things Based Real Time NPK Fertilizer Prediction for Cassava Crop in Rwanda. Dalam *Proceedings of the 2024 13th International Conference on Software and Computer Applications (ICSCA '24)*. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3651781.3651784>
- Nugraha, M. R., Galih, D., Rezkika, R., & Haryono, W. (2026). Rancang Bangun Aplikasi Manajemen Proyek Berbasis Web Menggunakan React dan Supabase. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, 14(1), 1-8. <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8741>
- Nugroho, F. S., & Rosyidah, U. (2025). Progressive Web App. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 3(4). <https://doi.org/10.61132/mars.v3i4.1027>
- Pratiwi, Adelia Angelina., et al. (2025). PERAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM PREDIKSI HASIL TANAMAN: META-SINTESIS LITERATUR TERKINI. *HYBRIDA: Jurnal Pertanian, Peternakan, Perikanan*. Volume 4, Nomor 1. Prefix DOI: 10.3766/hibrida.v1i2.3753.



Hak Cipta :

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

- Prusty, S., Patnaik, S., & Dash, S. K. (2022). SKCV: Stratified K-fold cross-validation on ML classifiers for predicting cervical cancer. *Frontiers in Nanotechnology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnano.2022.972421>
- Rahman, Ramijur., and Kulendra Nath Das. (2025). Artificial Intelligence and Machine Learning in Soil Analysis for Precision Agriculture: A Review. *Journal of Experimental Agriculture International*. Volume 47, Issue 5, Page 511-524, 2025;Article no.JEAI.134930 ISSN: 2457-0591.
- Rajić, A., et al. (2024). Analysis of Using Machine Learning Techniques for Estimating Solar Panel Performance in Edge Sensor Devices. *Applied Sciences*, 14(3), 1296. <https://doi.org/10.3390/app14031296>
- Rasyaad, F., dkk. (2025). Developing a Scalable Next.js Platform for IoT Monitoring Using Backend-as-a-Service with a Comparison of Supabase and Firebase. *ResearchGate Publication*, Januari 2025
- Santika, R., Febrianti, S., Hakeki, S., Udan, Supriyanto, Y., Abdillah, Z. F., & Atmaja, S. A.. (2025). Analisis Kinerja Fungsional pada Aplikasi Mobile JKN Melalui Pengujian Black Box Testing. *Journal on Pustaka Cendekia Informatika*, 3(1), 59-68. <https://doi.org/10.70292/pctif.v3i1.47>
- Senapaty, M. K., Ray, A., & Padhy, N. (2024). Enhancing Soil Fertility Prediction Through Federated Learning on IoT-Generated Datasets with a Feature Selection Perspective. *Engineering Proceedings*, 82(1), 39. <https://doi.org/10.3390/ecsa-11-20474>
- Setiyadi, Didik., et al. (2025). Prediction of heart disease using random forest algorithm, support vector machine, and neural network. *TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control*. Volume 23, Nomor 1, Halaman 129-137. DOI: 10.12928/TELKOMNIKA.v23i1.25341
- Shahab, H., Naeem, M., Iqbal, M., Aqeel, M., & Ullah, S. S. (2025). IoT-driven smart agricultural technology for real-time soil and crop



Hak Cipta :

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

optimization. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100847.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>

Shahare, Yogesh., et al. (2023). A Comprehensive Analysis of Machine Learning-Based Assessment and Prediction of Soil Enzyme Activity. *Agriculture*. Volume 13, Issue 7, 1323.
<https://doi.org/10.3390/agriculture13071323>.

Sharafat, M. S., Kabya, N. D., Emu, R. I., Ahmed, M. U., Onik, J. C., Islam, M. A., & Khan, R. (2025). An IoT-enabled AI system for real-time crop prediction using soil and weather data in precision agriculture. *Smart Agricultural Technology*, 12, 101263.
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101263>

Upadhyay, Ashutosh Kumar., and Sapna Ratan Shah. (2025). Machine Learning-Based Prediction of Air Quality Index (AQI) in Mumbai: Comparative Analysis of Linear Regression, Random Forest, and XGBoost Models. *RESEARCH REVIEW International Journal of Multidisciplinary*. Volume 10, Issue 11, Page 299-307.
<https://doi.org/10.31305/rrijm.2025.v10.11.030>

Wulandari, F. T., & Astiko, W. (2025). Kajian degradasi lahan dan pengelolaan lahan berkelanjutan. *Journal of Authentic Research*, 4(Special Issue), 1067–1080.
<https://doi.org/10.36312/jar.v4iSpecialIssue.2953>

Hak Cipta :

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Raden Muhammad Fadil Azhar

Penulis menyelesaikan pendidikan menengah di SMKN 6 Jakarta dengan jurusan Multimedia pada tahun 2022. Saat ini, penulis sedang menempuh pendidikan tinggi sebagai mahasiswa tingkat akhir di Politeknik Negeri Jakarta, program studi D4 Teknik Multimedia & Jaringan. Penulis memiliki rekam jejak lebih dari 6 tahun di industri kreatif serta lebih dari 4 tahun pengalaman dalam bidang pemrograman dan jaringan (*networking*).

Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengembangkan kompetensi profesional dan kepemimpinannya. Penulis pernah mengemban tugas sebagai *Creative Officer* di PT Tequino Media Kreatif (2021–2022) serta dipercaya menjadi *Project Based Learning Leader* di Politeknik Negeri Jakarta (2023–2025) untuk memimpin pengembangan proyek *Smart CCTV* berbasis IoT dan *Smart Attendance System*. Selain itu, penulis juga memiliki pengalaman akademis dan profesional sebagai Asisten Dosen di Politeknik Negeri Jakarta (2024–2025) serta menjadi *IT Staff* di Binus Center pada tahun 2025. Pengalaman kerja industri terakhir penulis adalah sebagai *IT Intern* di PT Astra Mitra Ventura (2025–2026), di mana penulis bertanggung jawab dalam mengembangkan serta menguji aplikasi internal perusahaan.

Dalam bidang keahlian teknis, penulis menguasai *Adobe Creative Suite*, *software development*, *full stack web development*, *Artificial Intelligence & Machine Learning*, serta konfigurasi jaringan. Penulis juga memiliki kecakapan dalam menggunakan bahasa pemrograman seperti C++, C#, Python, JavaScript, MySQL, dan PHP. Seluruh kombinasi pengalaman dan keahlian ini didukung oleh kemampuan adaptasi yang cepat, komunikasi yang baik, serta pemecahan masalah yang kuat.



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



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA DAN KOMPUTER
Jl. Prof.DR.G.A. Siwabesy, Kampus UI, Depok 16425
Telp. (021) 91274097, Fax (021) 7863531
Laman : <http://www.pnj.ac.id>, e-mail: tik@pnj.ac.id

F4

**LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
MENGIKUTI SIDANG SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini adalah Pembimbing skripsi :

Nama Mahasiswa : Raden Muhammad Fadil Azhar
NIM : 2207421005
Program Studi : Teknik Multimedia dan Jaringan
Judul Skripsi : Klasifikasi dan Analisis Tingkat Kesuburan Tanah Menggunakan Metode
Random Forest Berbasis Edge Computing

Sesuai dengan persyaratan yang diatur dalam Pedoman Skripsi Jurusan Teknik informatika dan Komputer, maka dengan ini menyetujui mahasiswa tersebut di atas untuk mengikuti sidang skripsi Tahun Akademik 2025 / 2026.

Depok, 08 Juni 2026
Pembimbing,

Maria Agustin, S.Kom., M.Kom.
NIP. 197509152003122003



Lampiran 2 Konsultasi Ahli (BRIN)

Konsultasi Mengenai Hara Tanah

Nama Narasumber : Dr. Ir. Junita Barus, M.Si
 Jabatan : Peneliti Ahli Utama
 Bidang : Kesuburan tanah dan pemupukan

Penelitian ini menggunakan soil sensor 7 in 1 untuk mengukur parameter tanah. Unsur kimia yang digunakan yaitu pH, NPK, kelembaban, suhu, dan EC. Untuk NPK yang digunakan menggunakan pengukuran tersedia.

1. Kategori kesuburan tanah mengikuti pedoman dari Balai Penelitian Tanah yang membaginya ke dalam lima tingkat, yaitu: sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah.
2. Penggunaan buku standar Balai Penelitian Tanah sudah sangat tepat. Referensi tersebut merupakan acuan terbaru yang diakui, mengingat pembaruan pedoman pengujian tanah berskala nasional membutuhkan proses dan biaya yang sangat besar.
3. Parameter pengujian yang digunakan pada penelitian ini (pH, EC, NPK, suhu, dan kelembapan) dinilai sudah memadai untuk merepresentasikan tingkat kesuburan tanah.
4. Berdasarkan parameter-parameter tersebut, penelitian ini diizinkan untuk menarik klasifikasi atau kesimpulan akhir secara objektif (misalnya, menentukan apakah tanah tersebut tergolong subur atau tidak subur).
5. Penentuan rentang nilai batas (*threshold* atau *range*) pada sistem harus mengacu secara ketat pada standar dari buku Balai Penelitian Tanah.
6. Referensi mengenai batas operasional dan variabel eksternal pengganggu pada sensor harus dipaparkan secara rinci. Sebagai analogi: sensor oksigen air akan gagal membaca dengan akurat jika airnya keruh. Sama halnya dengan metode ini, harus diakui bahwa pembacaan sensor bisa menjadi lemah atau bias akibat adanya variabel eksternal di dalam tanah.
7. Spesifikasi alat beserta seluruh keterbatasannya seperti jangkauan maksimal sensor atau kondisi yang membuat pembacaan tidak terdeteksi wajib dijelaskan secara detail dan transparan di dalam laporan penelitian.
8. Pengujian difokuskan pada pengklasifikasian spesifik untuk jenis tanah sawah mineral.
9. Unsur hara di dalam tanah secara alami saling terikat, sehingga uji akurat idealnya membutuhkan proses destruksi (*digest*) kimia. Oleh karena itu, pembacaan sensor wajib dikalibrasi menggunakan hasil uji laboratorium standar sebagai pembanding. Dengan adanya standar kalibrasi tersebut, estimasi nilai ketersediaan unsur (seperti P-Tersedia menggunakan metode Bray/Olsen) dapat diperkirakan dengan akurat.

Hak Cipta :

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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

10. Selain faktor Karbon Organik (C-Organik), kesuburan tanah juga sangat dipengaruhi dan ditentukan oleh tingkat pH serta ketersediaan unsur NPK.
11. Kondisi pH tanah yang rendah (asam) dapat mengikat unsur hara. Hal ini sangat berdampak pada parameter Fosfor (P), yang akan terikat oleh mineral tanah sehingga tidak dapat diukur/diserap dengan maksimal.

Dokumentasi dengan pihak BRIN Cibinong





Hak Cipta :

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

Lampiran 3 Konsultasi Petani dan Standarisasi (Balittanah)

Konsultasi Mengenai Hara Tanah

Nama Narasumber : Ibu Lina (Petani di Serang)
 Jabatan : Ketua Poktan Priangan Mukti I
 Bidang : Pertanian

1. Untuk memastikan akurasi data, pengambilan sampel tanah tidak boleh dilakukan hanya di satu titik. Sampel harus diambil dari beberapa titik yang tersebar, kemudian dicampur rata sebelum diukur menggunakan sensor atau dikirim untuk uji laboratorium.
2. Kondisi keasaman (pH) tanah sangat menentukan keberhasilan pemupukan. Jika pembacaan sensor menunjukkan pH tanah terlalu asam (misal: 5,3), unsur hara tidak akan terserap oleh tanaman. Langkah mitigasi yang harus dilakukan sebelum memberikan pupuk NPK adalah menaburkan kapur dolomit untuk menetralkan pH tanah.
3. Siklus pemupukan padi yang ideal dilakukan cukup dua kali, yakni pada fase 15 Hari Setelah Tanam (HST) dan 25-30 HST. Jika terdapat tanaman yang mengalami gangguan pertumbuhan (kerdil), pemupukan susulan cukup diberikan secara spesifik (*spot treatment*) pada area yang bermasalah saja.
4. Pemberian pupuk Urea (Nitrogen) harus dikontrol dengan ketat, terutama saat musim hujan di mana air hujan sudah menyuplai Nitrogen alami. Kelebihan Nitrogen akan menyebabkan daun menjadi terlalu hijau pekat dan sukulen, yang sangat rentan mengundang serangan hama seperti wereng dan penggerek batang.
5. Narasumber menetapkan standar indikasi dan tindakan agronomi untuk kondisi hara dan pH tanah sebagai acuan logika sistem, dengan rincian:
 - a. Nitrogen (N): Jika $N < 80\%$, direkomendasikan penambahan pupuk Urea atau Kompos.
 - b. Fosfor (P): Jika $P < 80\%$, direkomendasikan penambahan pupuk SP-36 atau *Rock Phosphate*.
 - c. Kalium (K): Jika $K < 80\%$, direkomendasikan penambahan pupuk KCl atau Abu Kayu.
 - d. pH Tanah: Jika $pH < 5.5$ (Kondisi Asam), wajib ditambahkan Kapur Dolomit. Jika $pH > 7.5$ (Kondisi Basa), ditambahkan Belerang/Sulfur.
6. Selain bergantung pada alat ukur, kebutuhan Nitrogen tanaman di lapangan juga divalidasi secara visual menggunakan metode Bagan Warna Daun (BWD). Warna daun menjadi indikator utama apakah tanaman masih membutuhkan tambahan pupuk atau harus dihentikan.



(Lanjutan)

7. Hama utama yang sering menyerang meliputi wereng coklat/hijau, tikus, burung, dan ulat penggerek batang (yang menyerang tanaman dari dalam batang). Jika populasi hama sudah melampaui batas toleransi dan pencegahan alami tidak lagi efektif, penggunaan pestisida kimia menjadi solusi kuratif yang harus diambil.
8. Logika sistem Kecerdasan Buatan (AI) yang mengklasifikasikan tanah sebagai "Sangat Subur" apabila kadar NPK-nya sangat tinggi harus direvisi. Kadar unsur hara yang berlebihan (*over-fertilized*) justru bersifat toksik, merusak keseimbangan tanah, dan memicu ledakan hama.

Tabel range parameter menggunakan standar Balai Tanah

Lampiran 3. Kriteria penilaian hasil analisis tanah

Parameter tanah *	Nilai				
	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat tinggi
C (%)	<1	1-2	2-3	3-5	>5
N (%)	<0,1	0,1-0,2	0,21-0,5	0,51-0,75	>0,75
C/N	<5	5-10	11-15	16-25	>25
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg/100g)	<15	15-20	21-40	41-60	>60
P ₂ O ₅ Bray (ppm P)	<4	5-7	8-10	11-15	>15
P ₂ O ₅ Olsen (ppm P)	<5	5-10	11-15	16-20	>20
K ₂ O HCl 25% (mg/100g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60
KTK/CEC (me/100 g tanah)	<5	5-16	17-24	25-40	>40
Susunan kation					
Ca (me/100 g tanah)	<2	2-5	6-10	11-20	>20
Mg (me/100 g tanah)	<0,3	0,4-1	1,1-2,0	2,1-8,0	>8
K (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,5	0,6-1,0	>1
Na (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-1,0	>1
Kejenuhan Basa (%)	<20	20-40	41-60	61-80	>80
Kejenuhan Aluminium (%)	<5	5-10	10-20	20-40	>40
Cadangan mineral (%)	<5	5-10	11-20	20-40	>40
Salinitas/DHL (dS/m)	<1	1-2	2-3	3-4	>4
Persentase natrium dapat tukar/ESP (%)	<2	2-3	5-10	10-15	>15

Parameter tanah pada lahan sawah*	Nilai		
	Rendah	Sedang	Tinggi
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg/100g)	<20	20-40	>40
K ₂ O HCl 25% (mg/100g)	<20	20-40	>40

	Sangat masam	Masam	Agak masam	Netral	Agak alkalis	Alkalis
pH H ₂ O	<4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	6,6-7,5	7,6-8,5	>8,5

Unsur mikro DTPA*	Defisiensi	Marginal	Cukup
Zn (ppm)	0,5	0,5-1,0	1,0
Fe (ppm)	2,5	2,5-4,5	4,5
Mn (ppm)	1,0	-	1,0
Cu (ppm)	0,2	-	0,2

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



(Lanjutan)

Tabel Raw Data Sensor dan hasil konversi

Parameter Tanah	Data Awal	Data setelah dikonversi	Metode Konversi
Nitrogen (N)	292 mg/kg	29,2 mg/100g	/ 10
Fosfor (P)	721 mg/kg	72,1 mg/100g	/ 10
Kalium (K)	718 mg/kg	71,8 mg/100g	/ 10
Derajat Keasaman (pH)	6	6	-
Konduktivitas Elektrik (EC)	1584 μ S/cm	1,584 dS/m	/ 1000

Penggunaan metode konversi satuan (/10 untuk unsur hara, dan /1000 untuk EC) dapat dibenarkan agar sistem Kecerdasan Buatan (AI) mampu mengklasifikasikan tingkat kesuburan tanah (P, K, pH, dan EC) sesuai parameter Balai Penelitian Tanah. Namun, sebagai batasan penelitian (*limitation of study*), klasifikasi untuk parameter Nitrogen (N) memerlukan penyesuaian *threshold* (ambang batas) tersendiri, karena sensor membaca nilai N-Tersedia, bukan N-Total dalam bentuk persentase (%) seperti yang tertera pada pedoman acuan.

Selain itu, sebagai bentuk kepatuhan terhadap etika penelitian, rincian data hasil pengujian laboratorium tidak dilampirkan di dalam laporan ini guna memenuhi permintaan kerahasiaan (*confidentiality*) dari pihak narasumber agar data tersebut tidak disebarluaskan.

Dokumentasi dengan pihak Petani Serang



Hak Cipta :

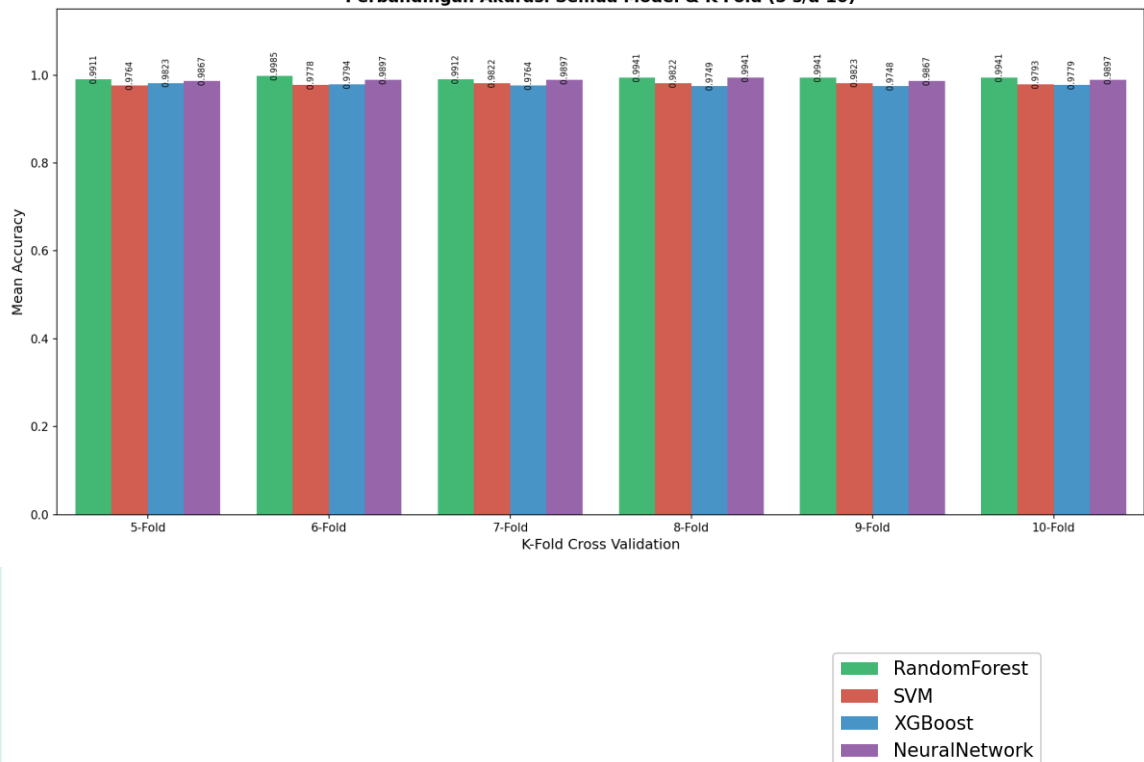
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Lampiran 4 Perbandingan Hasil Model 5 - 10 K-Fold

K-Fold	Model	Mean Accuracy	Std Accuracy	Mean Precision	Mean Recall	Mean F1-Score
5	Random Forest	0.9911	±0,0109	0.9918	0.9911	0.9911
5	SVM	0.9764	±0,0086	0.9776	0.9764	0.9763
5	XGBoost	0.9823	±0,0137	0.9834	0.9823	0.9823
5	Neural Network	0.9867	±0,0126	0.9871	0.9867	0.9867
6	Random Forest	0.9985	±0,0033	0.9986	0.9985	0.9985
6	SVM	0.9778	±0,0151	0.9787	0.9778	0.9777
6	XGBoost	0.9794	±0,0196	0.9808	0.9794	0.9794
6	Neural Network	0.9897	±0,0094	0.9904	0.9897	0.9896
7	Random Forest	0.9912	±0,0140	0.992	0.9912	0.9911
7	SVM	0.9822	±0,0121	0.9835	0.9822	0.9822
7	XGBoost	0.9764	±0,0218	0.9784	0.9764	0.9764
7	Neural Network	0.9897	±0,0146	0.99	0.9897	0.9897
8	Random Forest	0.9941	±0,0102	0.9945	0.9941	0.9941
8	SVM	0.9822	±0,0146	0.9836	0.9822	0.9822
8	XGBoost	0.9749	±0,0190	0.9768	0.9749	0.9748
8	Neural Network	0.9941	±0,0083	0.9944	0.9941	0.9941
9	Random Forest	0.9941	±0,0168	0.9949	0.9941	0.994
9	SVM	0.9823	±0,0154	0.9839	0.9823	0.9823
9	XGBoost	0.9748	±0,0231	0.9781	0.9748	0.9745
9	Neural Network	0.9867	±0,0108	0.9873	0.9867	0.9867
10	Random Forest	0.9941	±0,0098	0.9946	0.9941	0.9941
10	SVM	0.9793	±0,0179	0.9818	0.9793	0.9792
10	XGBoost	0.9779	±0,0231	0.9796	0.9779	0.9778
10	Neural Network	0.9897	±0,0148	0.9908	0.9897	0.9896

Perbandingan Akurasi Semua Model & K-Fold (5 s/d 10)

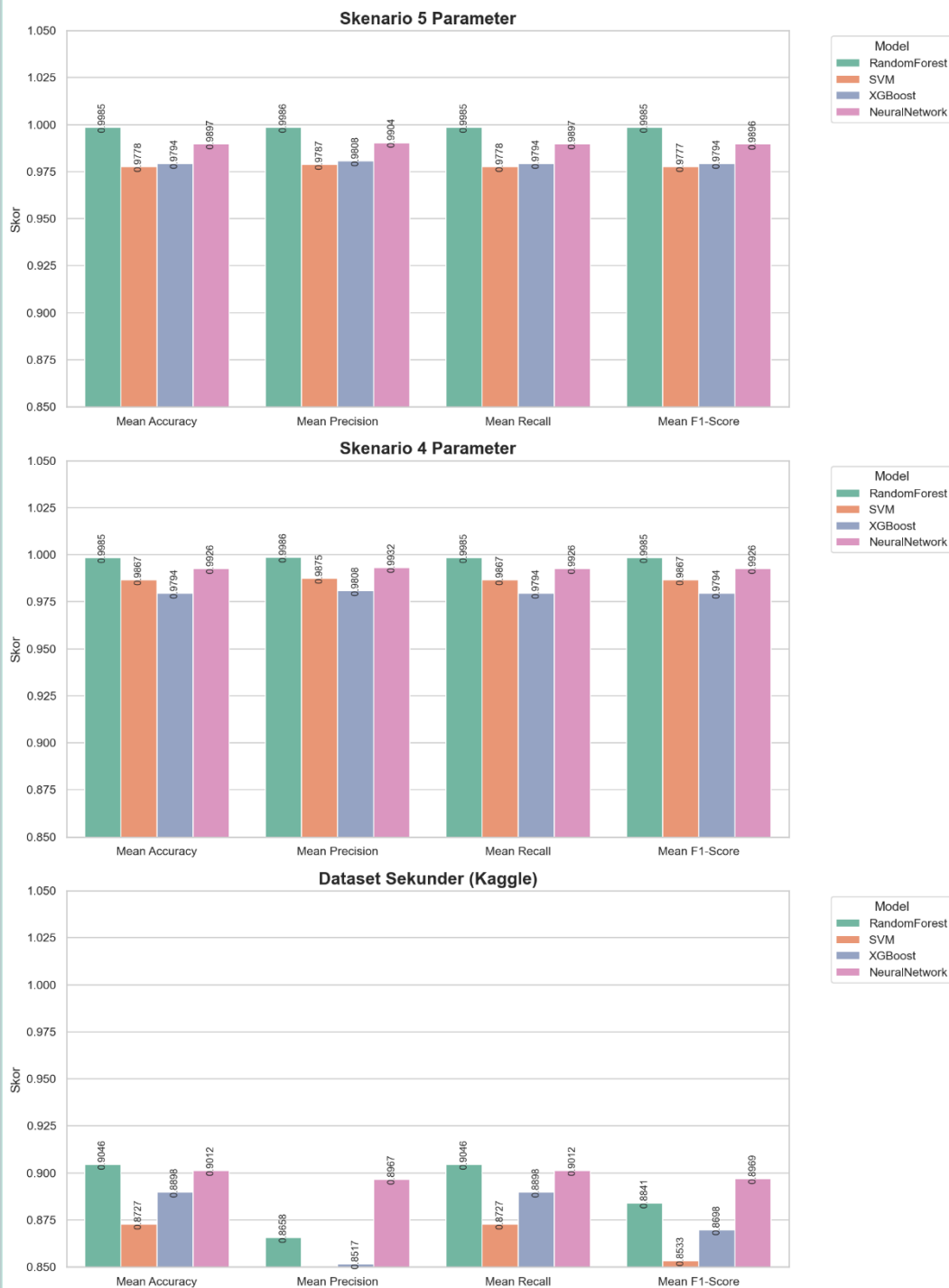


- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan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



(Lanjutan)

Perbandingan Metrik Evaluasi Semua Model (K=6)



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



Hak Cipta :

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

Lampiran 5 Hasil Pengujian Usability

A. DESKRIPSI PENGUJIAN

Pengujian *usability* ini dilakukan untuk mengevaluasi pengalaman pengguna dan tingkat penerimaan terhadap purwarupa alat portabel pemantau tanah dan sistem klasifikasi AI yang telah dikembangkan. Pengujian melibatkan 12 responden dan menggunakan dua instrumen evaluasi utama, yaitu *System Usability Scale* (SUS) dan *Net Promoter Score* (NPS).

B. HASIL SYSTEM USABILITY SCALE (SUS)

Perhitungan skor SUS didasarkan pada 10 pernyataan kuesioner. Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan skor individu responden:

No. Responden	Skor Ganjil (X-5)	Skor Genap (25-Y)	Total Skor SUS
1	18	18	90.0
2	15	7	55.0
3	18	18	90.0
4	17	19	90.0
5	15	11	65.0
6	17	11	70.0
7	15	10	62.5
8	13	13	65.0
9	13	15	70.0
10	18	17	87.5
11	19	14	82.5
12	16	9	62.5
Rata-rata			74.17

Kesimpulan SUS: Berdasarkan rata-rata skor sebesar 74.17, sistem masuk ke dalam Grade B dengan *Adjective Rating* "Good" (Baik).

Grafik menyajikan distribusi jawaban dari 12 responden terhadap pernyataan pertama pada instrumen *System Usability Scale* (SUS), yaitu mengenai tingkat antisipasi atau minat pengguna untuk sering menggunakan fitur sistem di masa mendatang. Skala penilaian yang digunakan bergerak dari angka 1 (Sangat Tidak Setuju) hingga angka 5 (Sangat Setuju). Serta pengukuran seberapa besar kemungkinan pengguna akan merekomendasikan sistem pemantauan dan klasifikasi AI ini kepada kolega atau rekan sesama petani, dengan menggunakan rentang skala 1 hingga 10.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

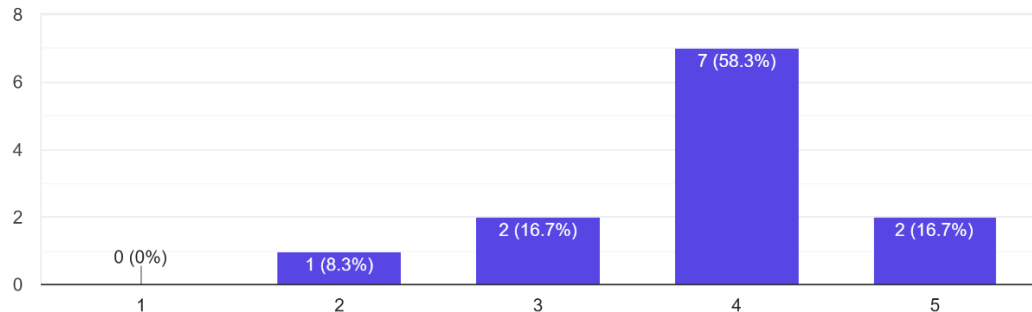
Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

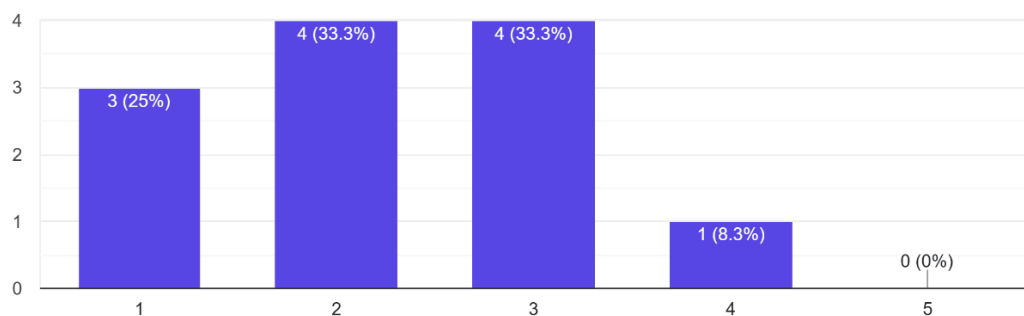
Saya pikir saya akan sering menggunakan fitur ini

12 responses



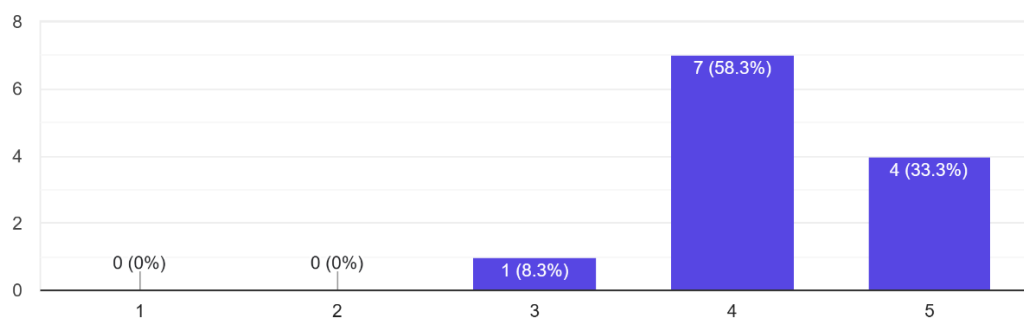
Saya merasa fitur ini terlalu rumit padahal dapat dibuat lebih sederhana

12 responses



Saya rasa fitur ini mudah untuk digunakan

12 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

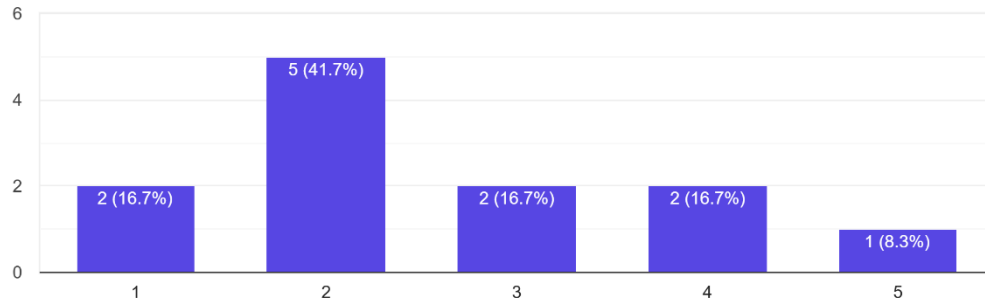
Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

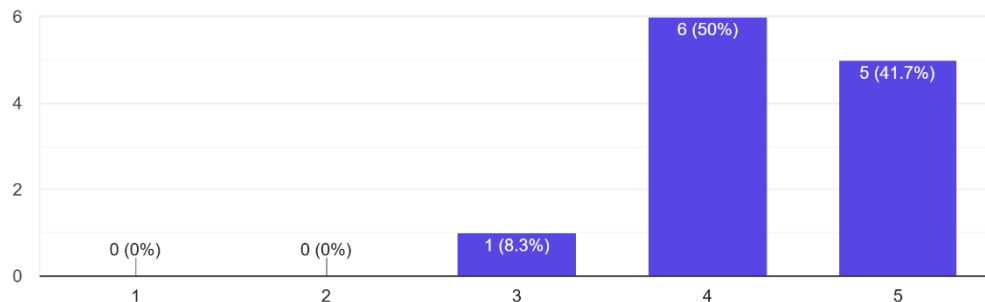
Saya pikir saya membutuhkan bantuan dari orang teknis untuk dapat menggunakan fitur ini

12 responses



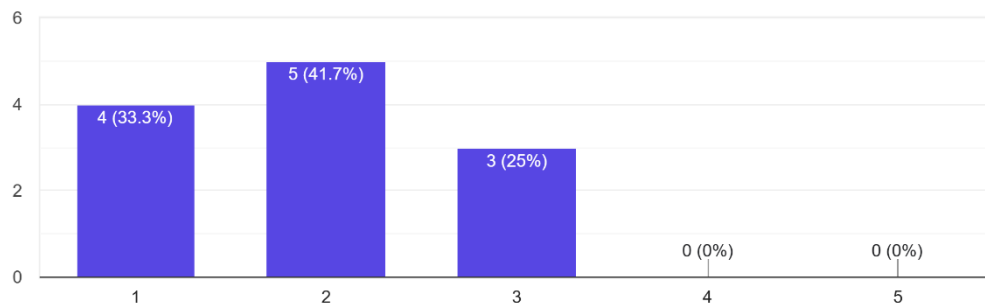
Saya menemukan bahwa terdapat berbagai macam fitur yang terintegrasi dengan baik dalam sistem

12 responses



Saya rasa banyak hal yang tidak konsisten terdapat pada fitur ini

12 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

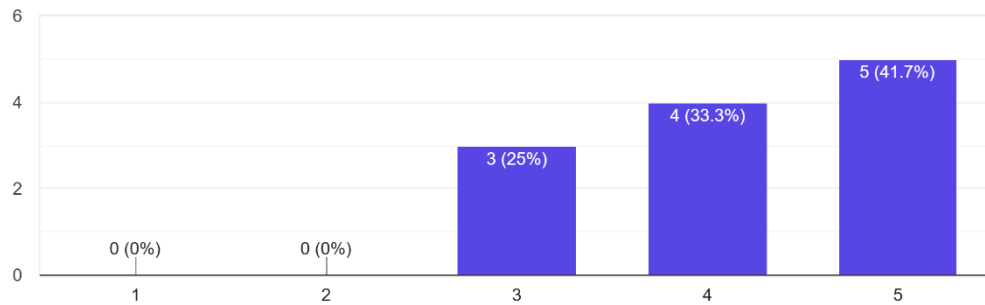
Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

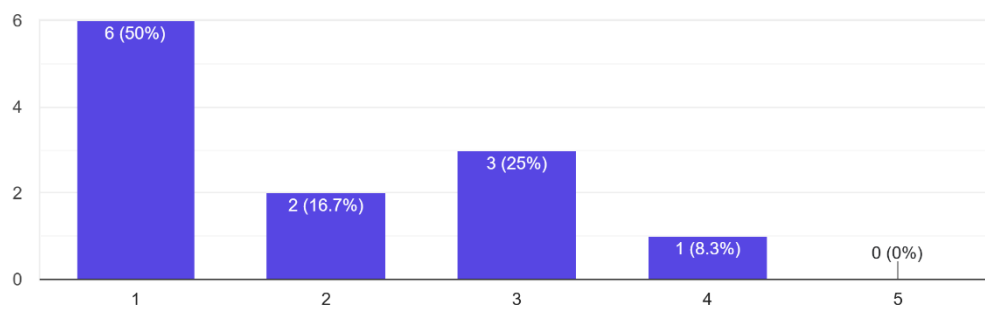
Saya rasa mayoritas pengguna akan dapat mempelajari fitur ini dengan cepat

12 responses



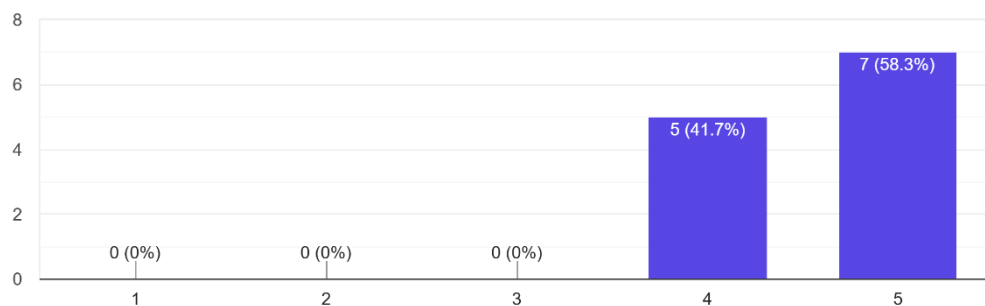
Saya menemukan bahwa fitur ini sangat tidak praktis ketika digunakan

12 responses



Saya sangat yakin dapat menggunakan fitur ini

12 responses





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

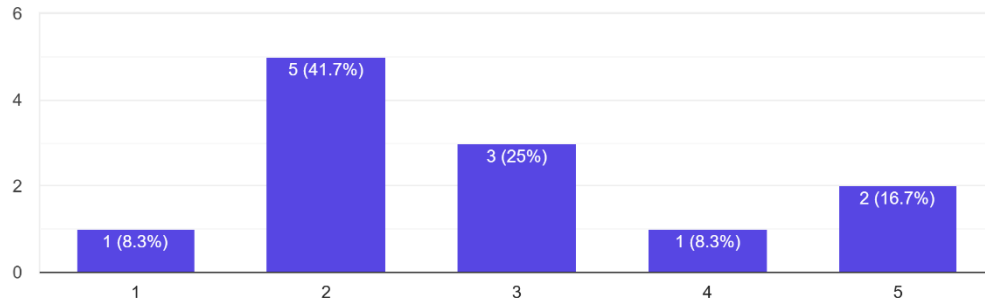
Hak Cipta :

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

(Lanjutan)

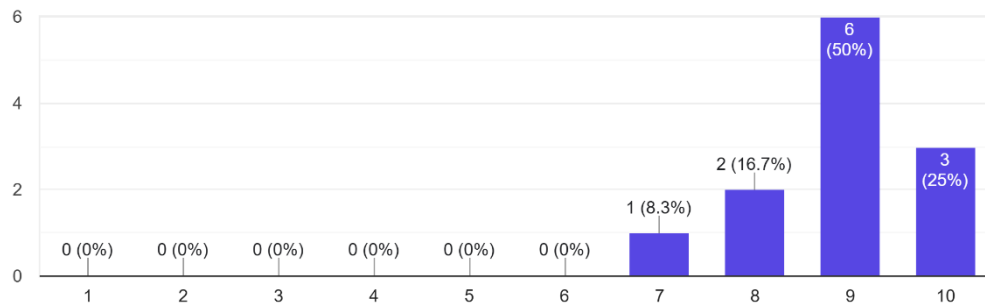
Saya harus banyak belajar banyak hal terlebih dahulu sebelum saya dapat menggunakan fitur ini

12 responses



Seberapa besar kemungkinan Anda akan merekomendasikan produk kami kepada teman Anda?
(How is the possibility of you will be recommending our product to your friends?)

12 responses



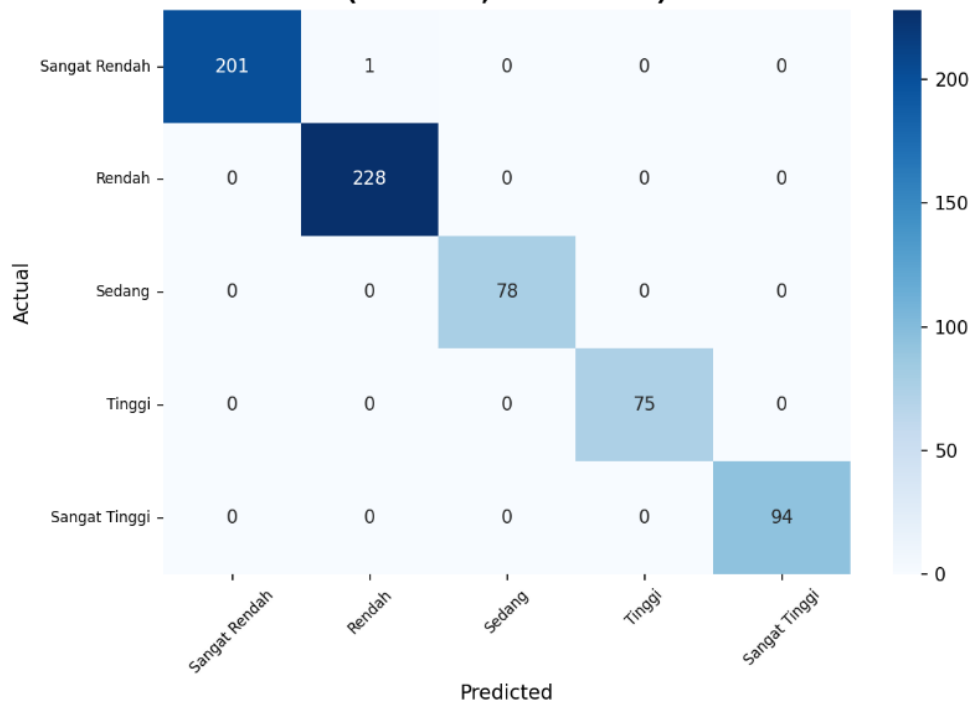


Hak Cipta :

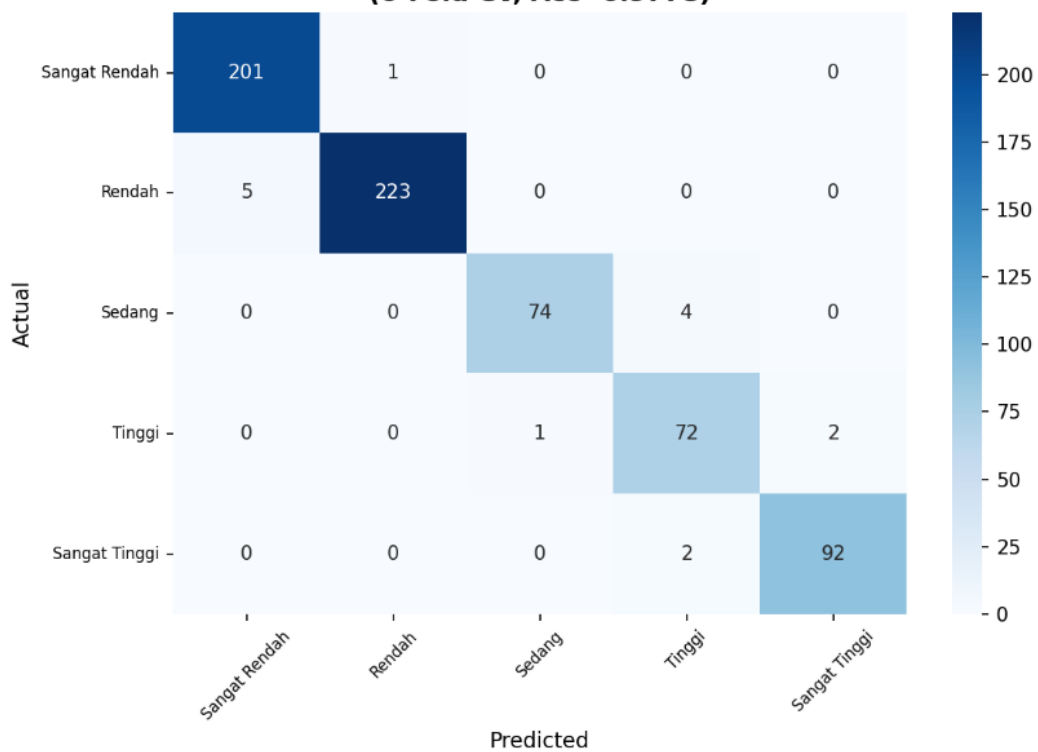
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

Lampiran 6 Hasil Evaluasi Performa Model Klasifikasi

**Confusion Matrix - RandomForest
(6-Fold CV, Acc=0.9985)**



**Confusion Matrix - SVM
(6-Fold CV, Acc=0.9778)**

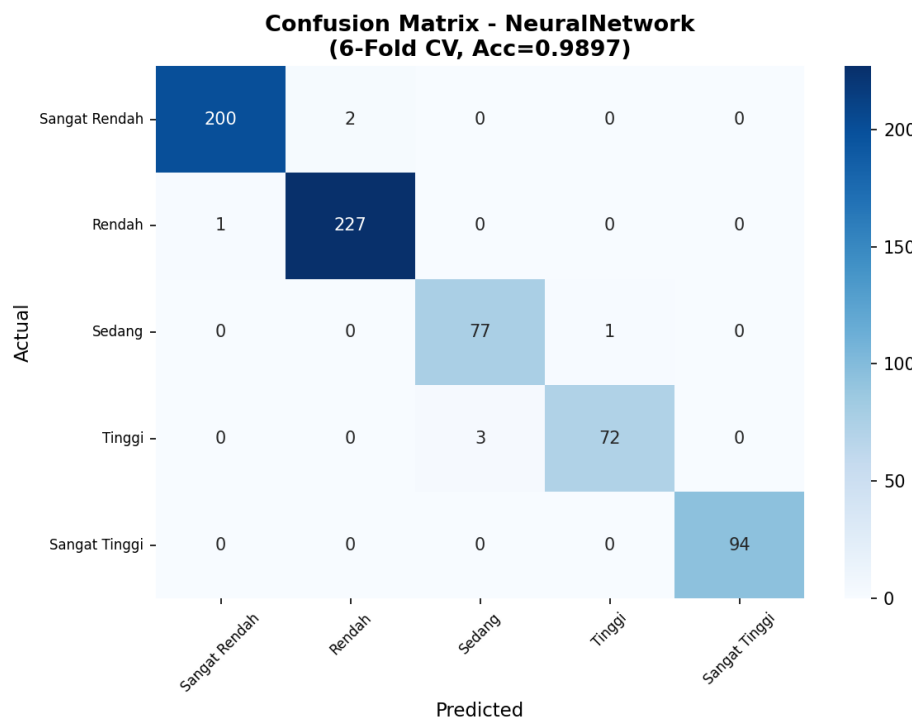
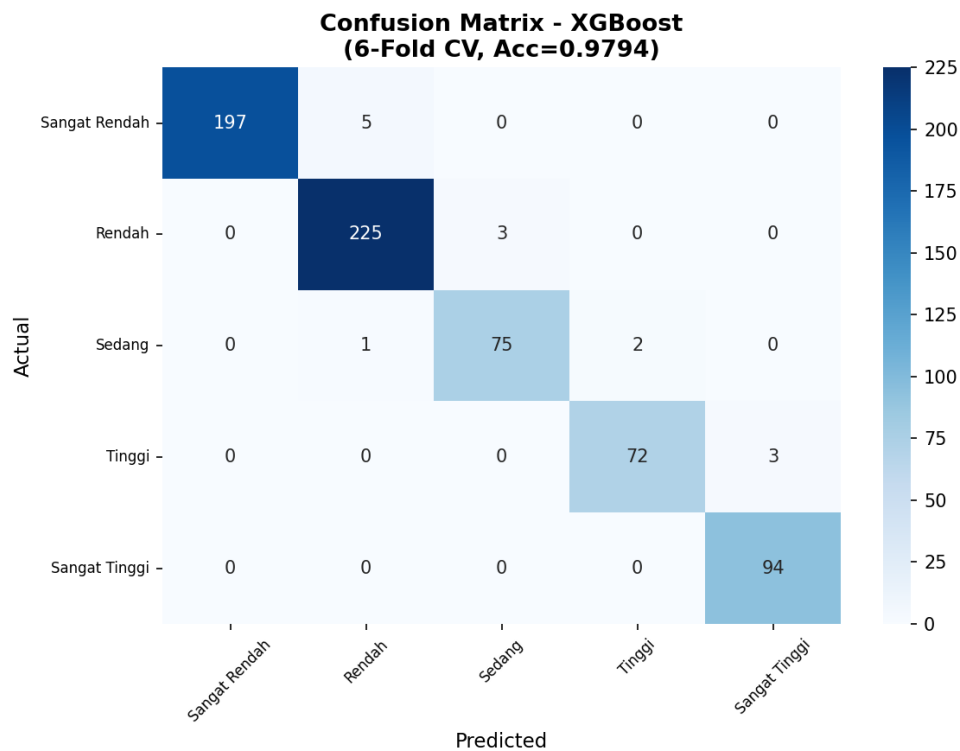




Hak Cipta :

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

(Lanjutan)





Hak Cipta :

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

Lampiran 7 Penggunaan Memori ESP32

```
Output Serial Monitor
Sketch uses 1231814 bytes (93%) of program storage space. Maximum is 1310720 bytes.
Global variables use 54980 bytes (16%) of dynamic memory, leaving 272700 bytes for local variables. Maximum is 327680 bytes.
```

Angka 1.231.814 bytes (sekitar 1,2 MB) merupakan total keseluruhan kode program yang berjalan di ESP32. Total ini mencakup pustaka (*library*) komunikasi jaringan (WiFi dan MQTT), pembacaan sensor RS485, antarmuka LCD, serta model *Random Forest* yang telah dikonversi menggunakan *micromlgen*. Batas maksimal sebesar 1.310.720 bytes (1,3 MB) merupakan batas partisi aplikasi utama bawaan (*default partition scheme*) pada ESP32, di mana sisa dari total 4 MB *Flash Memory* dialokasikan untuk sistem antrean *file* lokal (SPIFFS) dan *Over-The-Air* (OTA). Model AI final yang hanya berukuran 27,97 KB terbukti sangat aman dan menyumbang porsi beban yang sangat kecil di dalam partisi aplikasi utama tersebut.

Sistem hanya menggunakan 54.980 bytes (sekitar 54 KB) atau 16% dari total kapasitas SRAM (*Static Random Access Memory*). Hal ini membuktikan bahwa implementasi *TinyML* pada penelitian ini beroperasi dengan sangat efisien. Arsitektur model klasifikasi dieksekusi hampir sepenuhnya di dalam *Flash Memory* (menggunakan makro *PROGMEM*) sehingga tidak membebani memori dinamis. Ketersediaan sisa memori dinamis (*free heap*) yang sangat besar (84%) ini menjadi faktor krusial yang menjamin mikrokontroler tetap stabil dan tidak *crash* saat harus memproses antrean data sensor secara terus-menerus.

Lampiran 8 Pengujian Waktu Inferensi Kecerdasan Buatan

Output Serial Monitor X	Output Serial Monitor X
Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM12')	Message (Enter to send message to 'ESP32 Dev Module' on 'COM12')
17:42:16.957 -> Status: SANGAT RENDAH	17:42:16.957 -> Status: SANGAT RENDAH
17:42:17.564 -> - N Rendah (0 mg/kg) -> Tambah Urea	17:42:17.564 -> - N Rendah (0 mg/kg) -> Tambah Urea
17:42:18.175 -> - P Rendah (8 mg/kg) -> Tambah SP-36	17:42:18.175 -> - P Rendah (8 mg/kg) -> Tambah SP-36
17:42:18.696 -> - K Rendah (0 mg/kg) -> Tambah KCl	17:42:18.696 -> - K Rendah (0 mg/kg) -> Tambah KCl
17:42:19.296 -> [MQTT] Data terkirim ke ThingsBoard. (Latensi: 2 ms)	17:42:19.296 -> [MQTT] Data terkirim ke ThingsBoard. (Latensi: 2 ms)
17:42:20.515 -> [AI Latency: 0.000042 seconds]	17:42:20.515 -> [AI Latency: 0.000042 seconds]
17:42:20.515 -> [AI Class: 0 = Sangat Rendah]	17:42:20.515 -> [AI Class: 0 = Sangat Rendah]
17:42:20.515 -> HASIL ANALISIS KUALITAS TANAH	17:42:20.515 -> HASIL ANALISIS KUALITAS TANAH
17:42:20.515 -> Kelembaban : 41.7 %	17:42:20.515 -> Kelembaban : 41.7 %
17:42:20.515 -> Suhu : 23.7 degC	17:42:20.515 -> Suhu : 23.7 degC
17:42:20.515 -> N : 0 mg/kg	17:42:20.515 -> N : 0 mg/kg
17:42:20.515 -> P : 8 mg/kg	17:42:20.515 -> P : 8 mg/kg
17:42:20.515 -> K : 0 mg/kg	17:42:20.515 -> K : 0 mg/kg
17:42:20.515 -> pH : 6.5	17:42:20.515 -> pH : 6.5
17:42:20.550 -> EC : 107 us/cm	17:42:20.550 -> EC : 107 us/cm



Lampiran 9 Pengujian Latensi dan Forwarding Data

Histori Monitoring Smart Farming

History - last 30 days | WIB

Timestamp ↓	Nitrogen	Fosfor	Kalium	pH Tanah	Suhu	Kelembaban	EC
2026-06-06 18:40:32	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:40:17	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:40:03	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:39:48	14 mg/kg	80 mg/kg	73 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	256 µS/cm
2026-06-06 18:39:34	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:39:19	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:39:05	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:38:50	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm
2026-06-06 18:38:36	14 mg/kg	79 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	254 µS/cm
2026-06-06 18:38:21	14 mg/kg	80 mg/kg	72 mg/kg	9.0 pH	30.9 °C	76 %	255 µS/cm

☐	10356	2026-06-06 18:38:22.042842
☐	10357	2026-06-06 18:38:36.733588
☐	10358	2026-06-06 18:38:51.003378
☐	10359	2026-06-06 18:39:05.540919
☐	10360	2026-06-06 18:39:19.997462
☐	10361	2026-06-06 18:39:34.526284
☐	10362	2026-06-06 18:39:49.053061
☐	10363	2026-06-06 18:40:03.527558
☐	10364	2026-06-06 18:40:18.031396
☐	10365	2026-06-06 18:40:32.496266

Hak Cipta :

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