



© 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



**RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI  
PENYAKIT GANODERMA PADA KELAPA SAWIT  
BERBASIS WEB MENGGUNAKAN YOLOv26**

**SKRIPSI**

**VISCA CHAERUNNISA BACHRI**

**2207411007**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
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



**RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI  
PENYAKIT GANODERMA PADA KELAPA SAWIT  
BERBASIS WEB MENGGUNAKAN YOLOv26**

**SKRIPSI**

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

**Visca Chaerunnisa Bachri**

**2207411007**

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

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



**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

**SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Visca Chaerunnisa Bachri  
NIM : 2207411007  
Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan komputer/T.Informatika  
Judul skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI  
PENYAKIT GANODERMA PADA KELAPA SAWIT BERBASIS WEB  
MENGUNAKAN YOLOv26

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.

Depok, Juni 2026  
Yang Menyatakan

(Visca Chaerunnisa Bachri)  
2207411007



## © 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

## LEMBAR PENGESAHAN

**LEMBAR PENGESAHAN**

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Visca Chaerunnisa Bachri

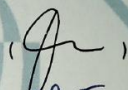
NIM : 2207411007

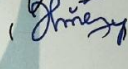
Program Studi : D4 Teknik Informatika

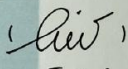
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI  
PENYAKIT GANODERMA PADA KELAPA  
SAWIT BERBASIS WEB MENGGUNAKAN  
YOLOv26

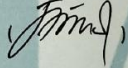
Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Skripsi pada hari Rabu, Tanggal  
Satu, Bulan Juli, Tahun dua ribu dua puluh enam dan dinyatakan **LULUS**.

Disahkan oleh

Pembimbing I : Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si, M.Si. (  )

Penguji I : Mera Kartika Delimayanti, S.Si., M.T., Ph.D. (  )

Penguji II : Euis Oktavianti, S.Si., M.T.I. (  )

Penguji III : Fajar Septian, M.Kom. (  )

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**

Mengetahui:

Jurusan Teknik Informatika dan Komputer

Ketua

  
Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom.  
NIP. 197908032003122003

**© Hak Cipta milik Jurusan TIK 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 dari Jurusan TIK 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

## KATA PENGANTAR

Penulis menyadari bahwa kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Syamsurizal, S.E., M.M., selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Ibu Dr. Anita Hidayati, S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika dan Komputer.
3. Ibu Euis Oktavianti, S.Si., M.TI., selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika.
4. Ibu Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta Staf Jurusan Teknik Informatika dan Komputer yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan yang bermanfaat serta membantu kelancaran administrasi selama masa perkuliahan.
6. Pimpinan dan Staf PT Bakrie Sawit Unggul, selaku mitra industri yang telah memberikan izin penelitian, memfasilitasi proses pengambilan data, serta memberikan bimbingan teknis yang sangat membantu kelancaran penyusunan skripsi ini.
7. Almarhumah Ibu Fitriyanti dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan doa yang tiada putus, motivasi, serta dukungan baik moril maupun materil yang tak terhingga.
8. Teman-teman seperjuangan program studi Teknik Informatika serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan



## © 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

semangat, bantuan, dan kerja sama selama masa perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Depok, Juni 2026  
Yang Menyatakan

(Visca Chaerunnisa Bachri)

2207411007





## © 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

## SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya bertandatangan di bawah ini

Nama : Visca Chaerunnisa Bachri

NIM : 2207411007

Jurusan/Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer / Teknik Informatika

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

**RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI PENYAKIT GANODERMA PADA  
KELAPA SAWIT BERBASIS WEB MENGGUNAKAN YOLOv26**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif

ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/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, Juni 2026  
Yang Menyatakan

(Visca Chaerunnisa Bachri)

2207411007

**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

## RANCANG BANGUN SISTEM DETEKSI DINI PENYAKIT GANODERMA PADA KELAPA SAWIT BERBASIS WEB MENGGUNAKAN YOLOv26

### ABSTRAK

*Industri kelapa sawit di Indonesia menghadapi ancaman kerugian ekonomi masif hingga 250 juta dolar AS per tahun akibat penyakit Busuk Pangkal Batang yang disebabkan oleh jamur *Ganoderma boninense*. Gejala serangan awal penyakit asimtomatis ini sangat sulit diidentifikasi secara visual biasa (RGB), namun karakteristik hambatan aliran air pada pembuluh xilem tanaman terbukti memicu anomali distribusi radiasi panas yang dapat ditangkap menggunakan sensor citra termal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun sistem Dashboard Monitoring berbasis web yang berfokus pada modul lokalisasi spasial objek pangkal batang (Region of Interest) kelapa sawit menggunakan arsitektur state-of-the-art YOLOv26 sebagai fondasi utama pemetaan wilayah perkebunan secara terpadu. Metode eksperimen dilakukan dengan membandingkan performa model YOLOv26 From Scratch dengan pendekatan Cross-Domain Transfer Learning dari spektrum RGB. Luaran koordinat kotak pembatas (bounding box) dari model terbaik diintegrasikan secara asinkronus ke dalam antarmuka klien menggunakan framework React.js didukung build tool Vite dan Python API pada sisi backend. Hasil pengujian menunjukkan model lokalisasi YOLOv26 murni (From Scratch) mencapai performa sangat tinggi dengan nilai Mean Average Precision (mAP@50) sebesar 98,92%, Precision 96,44%, dan Recall mencapai 98,59%. Seluruh komponen fungsionalitas visualisasi spasial (Mapping View) pada sistem web dinyatakan berjalan dengan responsif, presisi, dan bebas bug melalui pengujian Black Box Testing dengan hasil kelolosan 100%. Penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa hilirisasi arsitektur deteksi objek YOLOv26 ke dalam platform web berhasil diwujudkan sebagai instrumen lokalisasi spasial batang sawit yang andal dan siap diintegrasikan secara kolektif dengan modul diagnosis penyakit dari riset pendamping.*

*Kata Kunci : *Ganoderma boninense*, Citra Termal, YOLOv26, Bounding Box, React.js, Vite*



**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**

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....</b>                                        | <b>1</b>  |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>                                                         | <b>2</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                            | <b>3</b>  |
| <b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b> | <b>5</b>  |
| <b>ABSTRAK.....</b>                                                                   | <b>6</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                                | <b>2</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                             | <b>4</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                                              | <b>5</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>                                                           | <b>6</b>  |
| <b>BAB I.....</b>                                                                     | <b>7</b>  |
| <b>PENDAHULUAN.....</b>                                                               | <b>7</b>  |
| 1.1. Latar Belakang.....                                                              | 7         |
| 1.2. Perumusan Masalah.....                                                           | 9         |
| 1.3. Batasan Masalah.....                                                             | 9         |
| 1.4. Tujuan dan Manfaat.....                                                          | 10        |
| 1.5. Sistematika Penulisan.....                                                       | 11        |
| <b>BAB II.....</b>                                                                    | <b>13</b> |
| <b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                                          | <b>13</b> |
| 2.1. Ganoderma Boninense dan Deteksi Dini.....                                        | 13        |
| 2.2. Citra Termal (Thermal Imaging).....                                              | 13        |
| 2.3. Deep Learning, Object Detection, dan Framework Frontend Web.....                 | 14        |
| 2.3.1. Konsep Dasar Deep Learning.....                                                | 14        |
| 2.3.2. Convolutional Neural Network (CNN).....                                        | 14        |
| 2.3.5. Arsitektur Object Detection YOLOv26.....                                       | 15        |
| 2.3.6. Ekosistem React.js dan Vite.....                                               | 16        |
| 2.4. Penelitian Terdahulu.....                                                        | 16        |
| 2.5 Kerangka Pemikiran.....                                                           | 20        |
| 2.6. Hipotesis Penelitian.....                                                        | 21        |
| <b>BAB III.....</b>                                                                   | <b>22</b> |
| <b>METODE PENELITIAN.....</b>                                                         | <b>22</b> |
| 3.1. Rancangan Penelitian.....                                                        | 22        |
| 3.2. Sumber Data.....                                                                 | 32        |
| 3.3 Teknik Pengumpulan Data.....                                                      | 33        |



**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

|                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4 Teknik Analisis dan Pengujian Sistem.....                                                           | 35        |
| 3.4.1. Analisis Kondisi Mikroklimatologi Lingkungan.....                                                | 35        |
| 3.4.2 Analisis Distribusi dan Partisi Volume Dataset.....                                               | 36        |
| 3.4.3. Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (User Requirement).....                                       | 36        |
| 3.4.4. Skenario Eksperimen Modul Lokalisasi (YOLOv26).....                                              | 37        |
| 3.4.5. Evaluasi Kuantitatif Performa Spasial Deteksi Objek.....                                         | 37        |
| 3.4.6. Analisis Integrasi Pipa Data Komparatif Sistem Pemantauan.....                                   | 39        |
| 3.4.7. Analisis Diskusi Komparatif dengan Penelitian Terdahulu.....                                     | 40        |
| 3.4.8. Pengujian Fungsional Dashboard Monitoring Berbasis Web.....                                      | 41        |
| <b>BAB IV.....</b>                                                                                      | <b>42</b> |
| <b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>                                                                        | <b>42</b> |
| 4.1. Analisis Karakteristik Klimatologi dan Lingkungan Pengambilan Data..                               | 42        |
| 4.2 Sebaran Akhir Volume Dataset Eksperimen.....                                                        | 44        |
| 4.3. Analisis Kebutuhan Sistem (User Requirement).....                                                  | 46        |
| 4.3.1. Kebutuhan Fungsional (Functional Requirements).....                                              | 47        |
| 4.3.2. Kebutuhan Non-Fungsional (Non-Functional Requirements).....                                      | 48        |
| 4.4. Hasil Pelatihan Model Lokalisasi (YOLOv26).....                                                    | 48        |
| 4.4.1. Skenario A : Pelatihan Tanpa Transfer Learning (From Scratch)....                                | 48        |
| 4.4.3. Analisis Komparatif Performa Lokalisasi.....                                                     | 58        |
| 4.5. Analisis Efektivitas Ekstraksi Kotak Pembatas (Bounding Box) dan<br>Pembersihan Data Otomatis..... | 62        |
| 4.6. Analisis Integrasi Aliran Data Spasial Terpadu via Python API.....                                 | 63        |
| 4.7. Diskusi Komparatif Hasil Eksperimen dengan Penelitian Terdahulu.....                               | 64        |
| 4.7.1. Komparasi Performa Arsitektur Deteksi Objek (YOLO).....                                          | 64        |
| 4.7.2. Komparasi Efek Spektrum dan Strategi Transfer Learning.....                                      | 65        |
| 4.7.3. Komparasi Metodologi Lokalisasi Spasial Proksimal vs. Pendekatan<br>Makro.....                   | 65        |
| 4.8. Implementasi dan Pengujian Antarmuka Dashboard Monitoring Berbasis<br>Web.....                     | 67        |
| 4.8.1. Visualisasi Antarmuka Sistem.....                                                                | 67        |
| 4.8.2. Pengujian Fungsional Sistem (Black Box Testing).....                                             | 70        |
| <b>BAB V.....</b>                                                                                       | <b>73</b> |
| <b>PENUTUP.....</b>                                                                                     | <b>73</b> |
| 5.1. Kesimpulan.....                                                                                    | 73        |
| 5.2. Saran.....                                                                                         | 74        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                                              | <b>75</b> |



## © 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

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....                                            | 78 |
| LAMPIRAN.....                                                        | 79 |
| Lampiran 1: Matriks Pengujian User Acceptance Testing (UAT).....     | 79 |
| Lampiran 2 : Potongan Kode Program Utama (Source Code Snippets)..... | 81 |
| Lampiran 3 : Dokumentasi Akuisisi Data Lapangan.....                 | 86 |
| Lampiran 4: Surat Keterangan Penelitian / Dokumen Mitra.....         | 88 |



**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 GAMBAR**

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Diagram Kerangka Pemikiran.....                                                                                     | 22 |
| Gambar 3.1. Blok Diagram Strategi Transfer Learning.....                                                                       | 27 |
| Gambar 3.2 Use Case Diagram Sistem Dashboard Monitoring Ganoderma.....                                                         | 29 |
| Gambar 3.3. Alur Sistem.....                                                                                                   | 31 |
| Gambar 3.4. Ilustrasi Visualisasi Peta Sebaran Kesehatan Tanaman (Sumber: Referensi Mitra Industri).....                       | 33 |
| Gambar 3.5. Diagram Geometri Protokol Akuisisi Citra Termal Berdasarkan Parameter Sudut Depresi dan Elevasi Kamera.....        | 36 |
| Gambar 4.1 Kurva Pelatihan (Loss dan mAP) YOLOv26 Tanpa Transfer Learning 50                                                   |    |
| Gambar 4.2 Kurva Precision-Recall YOLOv26 Tanpa Transfer Learning.....                                                         | 51 |
| Gambar 4.3 Confusion Matrix Pelatihan YOLOv26 Tanpa Transfer Learning.....                                                     | 53 |
| Gambar 4.4 Visualisasi Hasil Prediksi Kotak Pembatas (Bounding Box) Batang Kelapa Sawit pada Batch Validasi Model YOLOv26..... | 55 |
| Gambar 4.5 Kurva Pelatihan (Loss dan mAP) YOLOv26 Dengan Transfer Learning.....                                                | 56 |
| Gambar 4.6 Kurva Precision-Recall YOLOv26 Dengan Transfer Learning.....                                                        | 57 |
| Gambar 4.7 Confusion Matrix Pelatihan YOLOv26 Dengan Transfer Learning..                                                       | 59 |
| Gambar 4.8. Antarmuka Halaman Utama (Dashboard Overview) Sistem Pemantauan Penyakit Ganoderma.....                             | 68 |
| Gambar 4.9. Antarmuka Halaman Proses Deteksi dan Sistem Akuisisi Citra (Live Thermal Camera).....                              | 69 |
| Gambar 4.10. Visualisasi Hasil Pemetaan Spasial (Mapping View) Berbasis Inferensi YOLOv26.....                                 | 70 |



**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 TABEL**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Matriks Penelitian Terdahulu.....                            | 18 |
| Tabel 4.1 Log Kondisi Mikroklimatologi Pengambilan Dataset Termal..... | 43 |
| Tabel 4.2 Matriks Distribusi Akhir Dataset Pemodelan AI.....           | 46 |
| Tabel 4.3 Matriks Komparasi Performa Lokalisasi Objek YOLOv26.....     | 60 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Fungsional Black Box Testing.....            | 71 |





**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 LAMPIRAN**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1: Matriks Pengujian User Acceptance Testing (UAT).....     | 80 |
| Lampiran 2 : Potongan Kode Program Utama (Source Code Snippets)..... | 82 |
| Lampiran 3 : Dokumentasi Akuisisi Data Lapangan.....                 | 87 |
| Lampiran 4: Surat Keterangan Penelitian / Dokumen Mitra.....         | 89 |



**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

Industri kelapa sawit merupakan pilar utama perekonomian Indonesia dengan luas areal mencapai 15,86 juta hektar pada tahun 2024 (BPS, 2024). Namun, keberlanjutan produktivitas industri ini menghadapi ancaman mematikan dari penyakit Busuk Pangkal Batang (*Basal Stem Rot*) yang disebabkan oleh cendawan *Ganoderma boninense*. Di Indonesia, dampak kerugian ekonomi nasional yang ditimbulkan oleh serangan patogen ini sangat masif. Berdasarkan rilis data dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), infeksi *Ganoderma boninense* tercatat telah meluas hingga mencakup ±118.000 hektar wilayah perkebunan aktif dengan estimasi kehilangan nilai ekonomi nasional mencapai 250 juta dolar AS (setara lebih dari Rp4 triliun) per tahun (Susanto, 2024).

Pada area perkebunan yang terdampak parah, infeksi *Ganoderma* mampu membunuh 30% hingga 54% dari total tegakan pohon produktif per hektar, serta memicu penurunan volume produksi Tandan Buah Segar (TBS) secara drastis hingga mencapai 68% (Ibrahim et al., 2020; Pujianto et al., 2016). Penyakit ini bersifat sangat asimtomatis pada fase awal infeksi, di mana tanaman yang terserang hampir tidak memperlihatkan gejala klinis luar yang berarti. Namun secara laten, infeksi tersebut berpotensi memicu kehilangan hasil produksi hingga 80% sepanjang masa hidup tanaman (*lifetime yield loss*) serta dapat menyebabkan kematian fatal pada tegakan pohon hanya dalam kurun waktu 2 tahun (Haw et al., 2023). Gejala visual pada tajuk daun seringkali baru muncul secara nyata ketika kerusakan internal jaringan pembuluh di dalam batang sudah mencapai tingkat kritis.

Secara teoritis, gangguan fisiologis akibat infeksi patogen memicu perubahan pola distribusi suhu pada batang (Hashim et al., 2021). Fenomena anomali termal ini

**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

menjadi landasan ilmiah bahwa citra termal dapat digunakan sebagai modalitas deteksi proksimal. Namun, citra termal memiliki tantangan berupa resolusi visual yang rendah dan intensitas *noise* lingkungan yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem deteksi dua tahap (*two-stage detection*). Fokus utama dalam penelitian ini terletak pada perancangan tahap pertama, yaitu melokalisasi koordinat area pangkal batang (*Region of Interest*) secara otomatis dan presisi menggunakan metode *Object Detection* mutakhir berbasis YOLOv26. Melalui pendekatan ini, parameter koordinat spasial kotak pembatas (*bounding box*) berupa data matriks JSON (xmin, ymin, xmax, ymax) dapat diekstrak dari citra termal mentah lapangan. Strategi *Transfer Learning* dieksplorasi secara eksperimental pada model YOLOv26 sebagai langkah taktis untuk menemukan arsitektur terbaik yang adaptif terhadap karakteristik pendaran radiasi panas.

Dalam skema riset kelompok terintegrasi, luaran parameter koordinat *bounding box* hasil inferensi YOLOv26 dari penelitian ini bertindak sebagai pemasok data hulu. Citra objek perakaran yang berhasil diisolasi secara otomatis (*auto-cropped image*) kemudian diserahkan sebagai masukan utama bagi tahap kedua, yaitu diagnosis tingkat keparahan penyakit menggunakan model klasifikasi tingkat lanjut (*Hybrid CNN-Transformer*) yang dikembangkan pada studi pendamping. Kolaborasi ini dirancang untuk melahirkan satu kesatuan pipa data (*data pipeline*) kecerdasan buatan yang utuh.

Selain aspek pemodelan spasial, luaran kecerdasan buatan seringkali sulit dimanfaatkan secara praktis oleh operasional perkebunan jika tidak dihilirisasikan ke dalam perangkat lunak yang memadai. Oleh karena itu, penelitian ini juga berfokus pada rancang bangun platform *Dashboard Monitoring* berbasis web menggunakan *framework* React.js dan *build tool* Vite pada sisi *frontend* serta Python API pada sisi *backend*. Sistem ini bertindak sebagai integrator utama yang meng-host mesin lokalisasi YOLOv26 sekaligus menjembatani rute pertukaran data API dari model klasifikasi studi pendamping, sehingga kondisi dan posisi spasial tanaman dapat

**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

divisualisasikan secara langsung guna mendukung pemantauan wilayah perkebunan secara terpadu.

Keunggulan utama dalam penelitian ini terletak pada pemecahan masalah batas wilayah deteksi (*spatial localization gap*) melalui otomasi ekstraksi *bounding box* YOLOv26 pada citra termal kelapa sawit, yang murni menangkap anomali radiasi panas akibat hambatan patogen *Ganoderma boninense*. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang condong pada analisis klasifikasi global manual, penelitian ini mewujudkan integrasi sistem nyata. Hilirisasi rute API *backend* Python ke dalam platform antarmuka *Dashboard Monitoring* yang dibangun dengan React.js dan Vite terbukti mampu menyajikan peta sebaran spasial (*Mapping View*) digital secara responsif. Platform ini siap menyatukan koordinat deteksi objek hasil riset ini dengan indikator status kesehatan (Sehat, Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, Scoring 4) hasil riset kelompok pendamping ke dalam satu peta interaktif yang aplikatif bagi manajemen operasional perkebunan kelapa sawit.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem pemantauan penyakit *Ganoderma* berbasis web menggunakan *framework React, Vite, dan Python backend*?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma YOLOv26 dengan strategi *Transfer Learning* untuk mendeteksi dan melokalisasi koordinat area pangkal batang kelapa sawit secara presisi pada citra termal?
3. Bagaimana efektivitas parameter metadata kotak pembatas (*bounding box*) hasil inferensi spasial YOLOv26 dalam menjembatani penyajian visualisasi peta digital (*Mapping View*) yang interaktif dan responsif?

**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

### 1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Sistem dibangun berbasis Web menggunakan *framework React.js* dengan *build tool Vite* pada sisi *frontend*.
2. Algoritma kecerdasan buatan yang dibangun dalam lingkup penelitian ini dibatasi pada arsitektur *Object Detection YOLOv26* untuk fungsi lokalisasi koordinat spasial tunggal (*1-Class: pangkal\_batang*).
3. Modul diagnosis tingkat keparahan penyakit (*Hybrid CNN-Transformer*) dan logika Sistem Pendukung Keputusan (SPK) bersumber dari penelitian pendamping, yang diintegrasikan secara final ke dalam sistem web melalui rute *endpoint Application Programming Interface (API)*.
4. Data primer berupa citra termal dengan fokus pangkal batang kelapa sawit yang diperoleh menggunakan perangkat kamera termal Milesee TR256C di lapangan perkebunan milik mitra industri (PT Bakrie Sawit Unggul) di Kabupaten Asahan.
5. Fitur visualisasi pada halaman *Dashboard UI* dibatasi pada fungsi kontrol sistem akuisisi data langsung (*live feed camera control*), ringkasan statistik populasi pohon, serta pemetaan spasial (*Mapping View*) interaktif yang menyatukan koordinat *bounding box* hasil riset ini dengan indikator warna status kesehatan (Sehat, Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, Scoring 4) dari riset pendamping.

**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

## 1.4. Tujuan dan Manfaat

### 1.4.1 Tujuan Penelitian

Pelaksanaan penelitian eksperimental berbasis rekayasa perangkat lunak ini dirancang untuk mencapai beberapa target utama sebagai berikut :

1. Merealisasikan rancang bangun sistem dashboard monitoring berbasis web yang responsif menggunakan React dan Vite, dan *backend* Python API sebagai wadah integrator *pipeline* kecerdasan buatan dua tahap.
2. Mengimplementasikan algoritma YOLOv26 untuk melakukan deteksi dan lokalisasi objek pangkal batang pada citra termal.
3. Mengintegrasikan data koordinat kotak pembatas (*bounding box*) hasil deteksi spasial ke dalam komponen peta digital (*Mapping View*) pada sistem web sebagai fondasi utama pipa data (*data pipeline*) yang siap dikolaborasikan dengan modul diagnosis penyakit dari riset pendamping.

### 1.4.2 Manfaat Penelitian

Melalui platform pemantauan serta otomasi *two-stage pipeline* AI yang dikembangkan, hasil studi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi teoretis maupun praktis yang diuraikan sebagai berikut :

1. Bagi Akademisi : Memberikan kontribusi ilmiah mengenai efektivitas cross-domain transfer learning (dari RGB ke Termal) dalam bidang pertanian presisi.
2. Bagi Industri : Memberikan alat bantu pantau (monitoring tool) yang objektif dan *realtime* melalui dashboard visual untuk memilah tanaman yang perlu dikarantina atau ditangani lebih lanjut.

**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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

### 1.5. Sistematika Penulisan

Laporan skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN: Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA: Menguraikan teori tentang Ganoderma, Citra Termal, Deep Learning (YOLOv26), Transfer Learning, dan penelitian terdahulu yang relevan.
3. BAB III METODE PENELITIAN: Menjelaskan rancangan sistem, sumber data, teknik pengumpulan dan analisis data, serta jadwal penelitian.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN: Menyajikan hasil pengujian model dan analisis performa.
5. BAB V PENUTUP: Berisi kesimpulan dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

**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 II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Ganoderma Boninense* dan Deteksi Dini

*Ganoderma boninense* adalah patogen tular tanah yang menyebabkan busuk pangkal batang pada kelapa sawit. Gejala awal sulit dideteksi secara visual. Azmi et al. (2020) menyatakan bahwa deteksi dini sangat krusial karena gejala visual seringkali baru muncul pada tahap lanjut infeksi. Penggunaan teknologi sensor seperti hyperspectral dan termal telah diteliti sebagai solusi alternatif.

#### 2.2. Citra Termal (*Thermal Imaging*)

Citra termal bekerja dengan menangkap radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan suatu objek berdasarkan tingkat emisivitas and distribusi panasnya tanpa memerlukan kontak fisik secara langsung. Hashim et al. (2021) menjelaskan bahwa infeksi patogen *Ganoderma boninense* pada kelapa sawit memicu kerusakan struktural internal berupa kerusakan and penyumbatan pada sistem jaringan pembuluh xilem, yang secara langsung menghambat kelancaran translokasi air, nutrisi, serta mengganggu laju transpirasi harian tanaman.

Fenomena cekaman fisiologis (physiological stress) akibat hambatan patogen ini mengganggu mekanisme pendinginan alami (thermoregulation) pohon kelapa sawit, sehingga memicu timbulnya anomali distribusi radiasi radiometrik panas pada permukaan batang luar. Perubahan pola pendaran suhu ini menyebabkan temperatur batang pohon yang sakit cenderung mengalami fluktuasi and berbeda secara signifikan dibandingkan dengan kondisi pohon kelapa sawit yang sehat. Dalam eksperimennya, Hashim et al. (2021) berhasil mengekstrak fitur statistik dan nilai temperatur piksel dari citra termal untuk mengklasifikasikan status infeksi Basal Stem Rot (BSR) kelapa sawit menggunakan algoritma pembelajaran mesin (machine learning) seperti Support Vector Machine (SVM) and Random Forest, yang

**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

membuktikan keandalan modalitas inframerah termal sebagai instrumen deteksi proksimal yang efektif.

### 2.3. Deep Learning, Object Detection, dan Framework Frontend Web

#### 2.3.1. Konsep Dasar *Deep Learning*

Deep learning merupakan salah satu cabang dari kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan pembelajaran mesin (Machine Learning) yang memanfaatkan arsitektur jaringan saraf tiruan berlapis banyak (Deep Neural Networks) untuk mengekstrak representasi fitur tingkat tinggi secara otomatis dari data mentah. Dalam konteks klasifikasi citra, pendekatan yang umum digunakan adalah Supervised Learning, di mana model dilatih menggunakan sekumpulan dataset yang telah memiliki label kebenaran mutlak (ground truth).

Siklus pengembangan pemodelan Deep Learning secara fundamental terbagi menjadi dua fase utama, yaitu fase pelatihan (training) dan fase inferensi (inference). Fase training melibatkan proses komputasi intensif di mana bobot internal jaringan (weights) diperbarui secara iteratif menggunakan algoritma backpropagation untuk meminimalkan nilai fungsi kerugian (loss function). Sebaliknya, fase inference adalah tahapan di mana model yang telah matang diaplikasikan pada perangkat keras untuk memproses data masukan baru yang belum pernah dilihat sebelumnya guna memproduksi keputusan prediksi secara cepat (Azmi et al., 2021; Hashim et al., 2021).

#### 2.3.2. *Convolutional Neural Network (CNN)*

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan arsitektur Deep Learning yang dirancang khusus untuk memproses data spasial dua dimensi seperti gambar digital. Operasi utama pada CNN bertumpu pada lapisan konvolusi (convolutional layer), di mana sekumpulan filter (kernel) bergerak menyusuri seluruh area matriks gambar

**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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

untuk mengekstrak fitur visual lokal seperti garis tepi, tekstur, dan gradien warna melalui operasi perkalian dot matriks.

Setelah fitur spasial diekstrak, data dialirkan menuju lapisan reduksi (pooling layer), umumnya berupa Max Pooling, yang berfungsi memotong dimensi spasial matriks fitur untuk menekan beban komputasi sekaligus mempertahankan fitur yang paling dominan. Lapisan akhir dari arsitektur CNN adalah lapisan terhubung penuh (fully connected layer atau dense layer), yang meratakan (flatten) seluruh matriks fitur abstrak menjadi vektor satu dimensi untuk dikalikan dengan bobot keputusan guna menghasilkan nilai probabilitas klasifikasi kelas akhir (Blessing, 2024; Haw et al., 2023).

#### 2.3.4. Mekanisme Transfer Learning

Transfer learning adalah strategi rekayasa pemodelan kecerdasan buatan yang memanfaatkan pengetahuan (knowledge) berupa parameter bobot yang telah dipelajari oleh suatu model pada domain sumber (source domain berskala besar, seperti Dataset ImageNet RGB) untuk diterapkan pada domain target baru (target domain yang spesifik dengan jumlah data terbatas, seperti Dataset Citra Termal Kelapa Sawit).

Dalam penerapannya, strategi ini dieksekusi melalui dua tahapan, yaitu ekstraksi fitur (feature extraction) dan penyetelan halus (fine-tuning). Fase feature extraction dilakukan dengan mengunci (freeze) lapisan-lapisan awal jaringan yang menangkap fitur universal, kemudian memodifikasi lapisan klasifikasi akhir sesuai jumlah kelas target. Selanjutnya, fase fine-tuning dijalankan dengan melatih ulang lapisan atas jaringan menggunakan nilai langkah belajar (learning rate) yang sangat kecil guna mengadaptasikan representasi bobot abstrak model agar sesuai dengan karakteristik gradien anomali panas citra termal (Azmi et al., 2020; Hyder & Talpur, 2024).

**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

### 2.3.5. Arsitektur *Object Detection YOLOv26*

*YOLO (You Only Look Once)* merupakan pelopor arsitektur algoritma object detection berbasis single-stage detector yang melakukan prediksi koordinat lokasi objek dan klasifikasi kelas secara simultan dalam satu kali proses komputasi kedepan (one single forward pass). Iterasi mutakhir pada versi YOLOv26 mengoptimalkan efisiensi komputasi backbone untuk mengekstrak fitur spasial citra secara multi-skala.

Mekanisme pendeteksian objek pada YOLOv26 bekerja dengan membagi citra masukan menjadi kisi-kisi sel (grid cells). Setiap sel bertanggung jawab untuk memprediksi kotak pembatas (*bounding box*) yang mengisolasi koordinat objek target beserta nilai skor kepercayaan (*confidence score*). Nilai confidence score ini mencerminkan tingkat kepastian model bahwa suatu kotak berisi objek riil dan merepresentasikan akurasi kecocokan *Intersection over Union (IoU)* antara kotak prediksi terhadap kotak ground truth asli lapangan (Tripathi et al., 2025; Wang et al., 2024).

### 2.3.6. Ekosistem React.js dan Vite

React.js merupakan pustaka JavaScript berbasis komponen open-source yang dirancang untuk membangun antarmuka pengguna (*User Interface*) web satu halaman (*Single Page Application*) yang dinamis. React menerapkan mekanisme Virtual DOM (*Document Object Model*) yang melakukan komparasi perbedaan struktur komponen secara di memori sebelum memperbarui DOM riil browser, sehingga meminimalkan beban komputasi rendering antarmuka klien.

*Build tool Vite* diimplementasikan sebagai infrastruktur pendukung pengganti bundler konvensional untuk mempercepat siklus pengembangan dan kompilasi. Vite memanfaatkan modul ESM asli (*Native ECMAScript Modules*) pada browser modern untuk memotong tahapan bundling saat mode pengembangan, serta didukung kompiler esbuild yang ditulis dalam bahasa Go untuk menghasilkan eksekusi *Hot Module Replacement (HMR)* yang instan. Karakteristik ini sangat krusial dalam



**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

merender visualisasi peta spasial sebaran koordinat kelapa sawit secara responsif (Barman et al., 2025; Husin et al., 2024).

## 2.4. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelusuran literatur, terdapat sejumlah penelitian yang relevan dengan deteksi penyakit tanaman, khususnya Ganoderma, menggunakan berbagai pendekatan sensor dan algoritma. Ringkasan penelitian-penelitian tersebut disajikan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Matriks Penelitian Terdahulu

| No | Peneliti & Tahun       | Metode / Algoritma     | Objek & Sensor                   | Hasil Utama                                                       | Keterbatasan / Celah Penelitian (Research Gap)                                                     |
|----|------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Kwang et al. (2025)    | MLP, SVM, RF           | Ganoderma (Hyperspectral Drone)  | MLP mencapai akurasi 100%.                                        | Sensor Hyperspectral sangat mahal dan kompleks untuk operasional harian perkebunan.                |
| 2  | Barman et al. (2025)   | Mobile App Development | Basal Stem Rot (Smartphone/ RGB) | Aplikasi visualisasi stadium penyakit pada smartphone.            | Fokus pada visualisasi manual/RGB, belum memanfaatkan citra termal untuk deteksi dini asimtomatis. |
| 3  | Tripathi et al. (2025) | YOLOv8 vs YOLOv9       | Penyakit Tanaman (Real-time)     | Perbandingan performa model YOLO terbaru untuk deteksi real-time. | Belum menerapkan arsitektur terbaru YOLOv26 yang lebih efisien.                                    |
| 4  | Hyder & Talpur (2024)  | Deep Transfer Learning | Penyakit Tanaman (General)       | Membuktikan efektivitas Transfer Learning untuk                   | Studi bersifat umum, belum spesifik pada domain adaptasi dari RGB ke Termal untuk                  |

**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

|    |                          |                               |                             |                                                           |                                                                                                |
|----|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                          |                               |                             | efisiensi pelatihan.                                      | Ganoderma.                                                                                     |
| 5  | Wahyuni et al. (2024)    | SVM vs Random Forest          | Ganoderma (Multispektral)   | SVM (93.55%) mengungguli Random Forest (84.42%).          | Masih menggunakan Machine Learning klasik yang bergantung pada ekstraksi fitur manual.         |
| 6  | Wang et al. (2024)       | YOLO-Leaf (Custom)            | Penyakit Daun Apel          | Modifikasi YOLO untuk presisi tinggi pada daun.           | Fokus pada daun apel, arsitektur perlu penyesuaian untuk batang sawit.                         |
| 7  | Blessing (2024)          | CNN & Image Recognition       | Penyakit Sawit (Visual)     | Otomatisasi deteksi menggunakan CNN standar.              | Model CNN umum seringkali berat secara komputasi dibanding keluarga YOLO.                      |
| 8  | Haw et al. (2023)        | Systematic Review             | Basal Stem Rot (Review)     | Deep Learning menjanjikan namun terkendala data scarcity. | Merekomendasikan penggunaan teknik Augmentasi dan Transfer Learning.                           |
| 9  | Xu & Wu (2023)           | Transfer Learning + ML Klasik | Analisis Multi-view         | Kombinasi metode untuk analisis citra.                    | Kompleksitas tinggi karena menggabungkan dua pipeline berbeda.                                 |
| 10 | Azmi et al. (2020; 2021) | SVM (Gaussian Kernel)         | Bibit Sawit (Hyperspectral) | Deteksi dini pada bibit dengan F-score 95.21%.            | Fokus pada bibit (bukan tanaman menghasilkan) dan menggunakan sensor Hyperspectral yang mahal. |

### 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

|    |                      |                                     |                                               |                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                |
|----|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Hashim et al. (2021) | SVM, ANN, KNN, RF (Imbalanced Data) | Ganoderma BSR (Citra Termal / Thermal Images) | Mengklasifikasi kan blok pohon kelapa sawit sehat dan terinfeksi menggunakan ekstraksi fitur statistik citra termal. | Fokus pada klasifikasi biner global (sehat/sakit) dengan pendekatan sampling matrix, belum menerapkan lokalisasi spasial otomatis per pohon (Two-Stage Object Detection YOLO) serta hilirisasi platform dashboard web mapping. |
| 12 | Tan et al. (2023)    | SVM, KNN, RF, Naive Bayes           | Ganoderma (Near-Infrared / NIR Spectral Data) | Mengklasifikasi kan keberadaan infeksi melalui deteksi biomarker ergosterol menggunakan gelombang inframerah dekat.  | Pengujian berbasis data spektral sensor kontak jarak dekat di laboratorium, belum mengeksplorasi pendaran radiasi panas spasial (thermal imaging) di lapangan berskala makro.                                                  |

Posisi Penelitian : Berdasarkan matriks pada Tabel 2.1, penelitian ini dirancang untuk mengisi celah (gap) yang telah diidentifikasi :

1. Metodologi AI Dua Tahap Terpadu (*Two-Stage Pipeline*): Berbeda dengan riset Hashim et al. (2021) yang langsung melakukan klasifikasi biner secara global pada citra termal, penelitian ini memperkenalkan rancangan sistem terintegrasi dua tahap. Fokus utama penelitian ini adalah mengotomatisasi tahap pertama, yaitu mengisolasi letak spasial pangkal batang (*Region of Interest*) menggunakan arsitektur *state-of-the-art* YOLOv26. Hasil isolasi berupa potongan gambar otomatis (*auto-cropped image*) inilah yang menjadi infrastruktur data hulu untuk diteruskan ke tahap kedua (modul klasifikasi tingkat lanjut dari studi pendamping).

**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. Superioritas Ekstraksi Fitur Otomatis (Deep Learning) vs. Metode Klasik (SVM/MLP): Berbeda dengan pendekatan Hashim et al. (2021) dan Wahyuni et al. (2024) yang mengandalkan algoritma *Machine Learning* klasik (seperti SVM, RF, atau MLP) yang sangat bergantung pada ekstraksi fitur statistik manual (*handcrafted features*), penelitian ini mengimplementasikan *Deep Learning* melalui YOLOv26. Algoritma deteksi objek ini secara otomatis mengekstrak hierarki fitur spasial langsung dari piksel citra termal, sehingga jauh lebih resisten terhadap *noise* latar belakang (seperti pantulan panas tanah) dan menghasilkan penandaan kotak pembatas (*bounding box*) yang sangat presisi.

3. Adaptasi Spektrum Cross-Domain: Mengatasi keterbatasan volume data (*data scarcity*) pada citra inframerah kelapa sawit melalui pembuktian eksperimental strategi *Transfer Learning* dari domain visual RGB (Roboflow) ke domain radiasi panas termal lapangan (Mileseey), sebuah pendekatan adaptasi domain yang belum dieksplorasi pada riset umum milik Hyder & Talpur (2024).

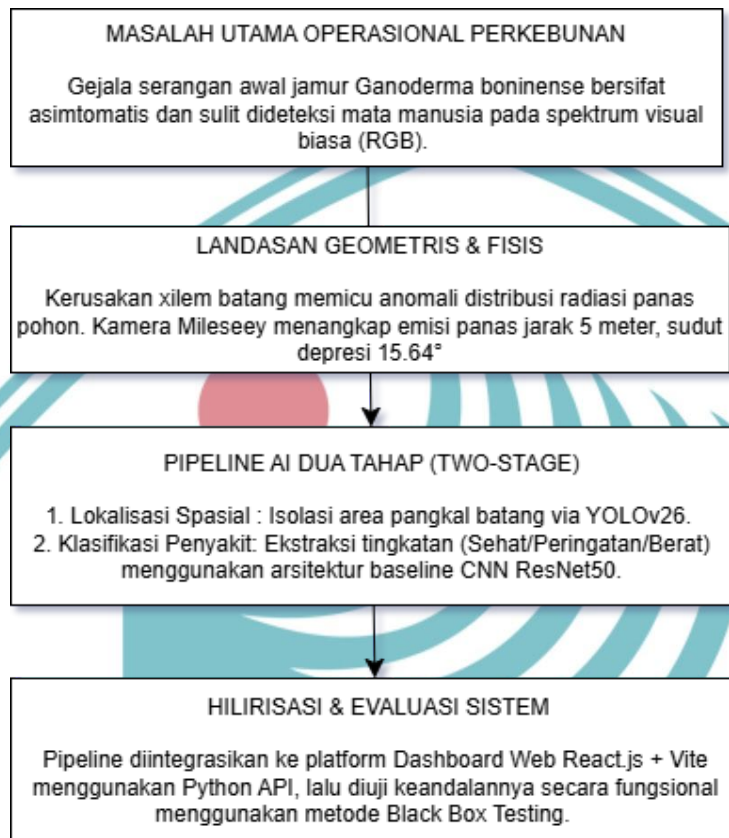
4. Hilirisasi Sistem Terintegrasi Nyata: Menjembatani luaran model kecerdasan buatan agar dapat diaplikasikan secara praktis di industri melalui rancang bangun platform antarmuka *Dashboard Monitoring* berbasis web menggunakan React.js dan Vite yang terhubung langsung dengan *backend API* Python, sehingga visualisasi peta sebaran spasial digital (*Mapping View*) dengan indikator warna kelas (Sehat, Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, Scoring 4) dapat disajikan secara responsif bagi manajemen operasional perkebunan.

## 2.5 Kerangka Pemikiran

Penelitian eksperimental ini dirancang berlandaskan alur logika deduktif fungsional untuk menyelesaikan permasalahan asimtomatis patogen *Ganoderma boninense* pada operasional industri perkebunan sawit. Kerangka pemikiran penelitian disajikan dalam diagram alur logika pada Gambar 2.1 berikut.

### 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



Gambar 2.1 Diagram Kerangka Pemikiran

## 2.6. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tinjauan pustaka terdahulu, hipotesis awal yang diajukan dalam penelitian eksperimental ini adalah:

**H1** : Penerapan algoritma Object Detection YOLOv26 mampu melakukan lokalisasi spasial objek pangkal batang kelapa sawit secara presisi pada citra termal dengan perolehan nilai Mean Average Precision (mAP@50) mencapai batas ambang di atas 90%.

**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 III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Rancangan Penelitian

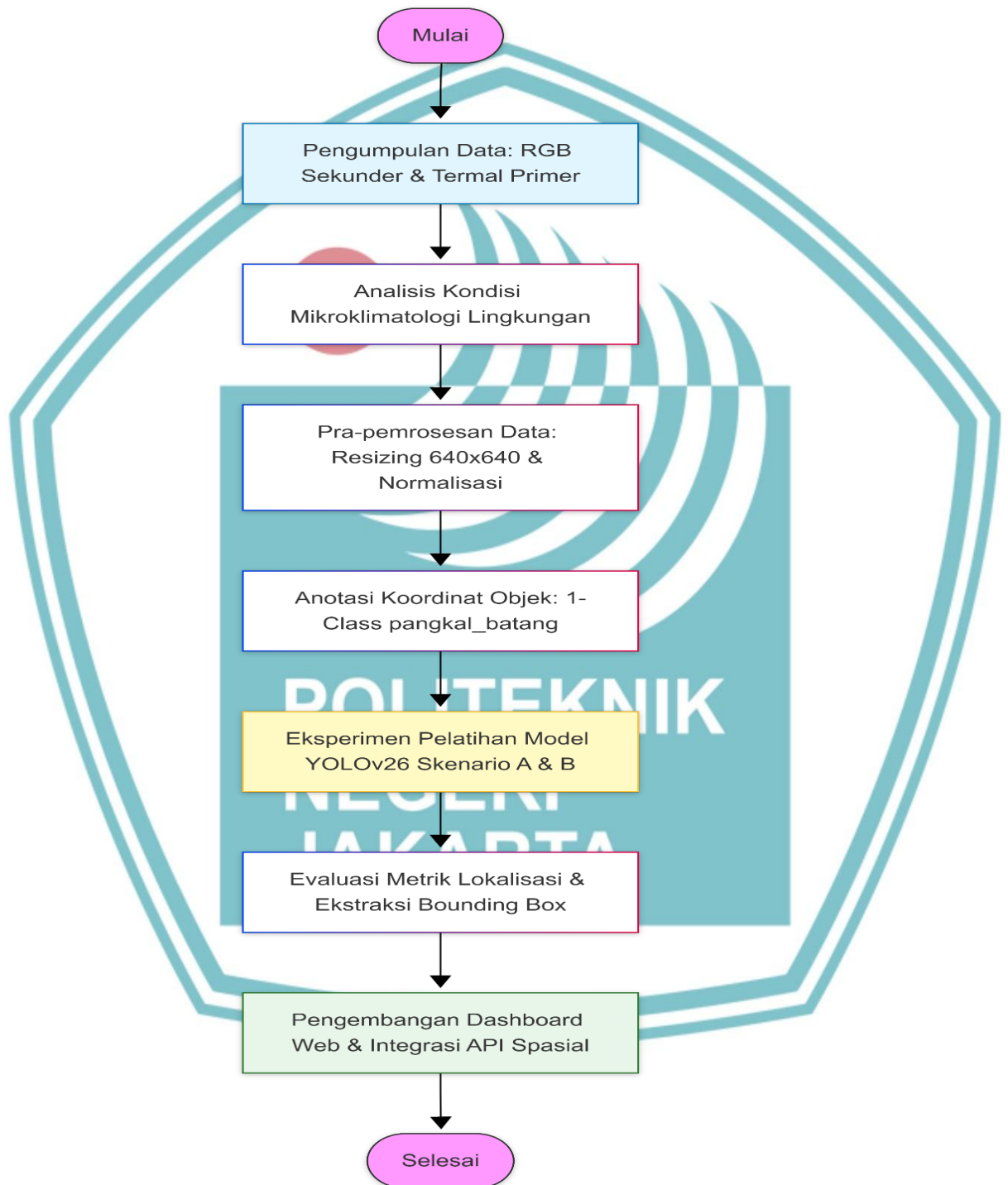
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental (*experimental research*). Eksperimen difokuskan penuh pada Modul Lokalisasi Spasial (YOLOv26) untuk menguji pengaruh strategi pelatihan *From Scratch* dibanding *Transfer Learning* dari dataset RGB terhadap metrik akurasi *Mean Average Precision* ( $mAP@50$ ), *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score* dalam tugas mendeteksi letak pangkal batang kelapa sawit.

Luaran koordinat kotak pembatas (*bounding box*) dari model terbaik akan menjadi parameter utama yang menjembatani pengiriman data spasial menuju sistem antarmuka dashboard monitoring web perkebunan. Jalannya tahapan penelitian ini disusun secara sistematis dan kronologis, yang direpresentasikan melalui diagram alur pada Gambar 3.1.

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



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

**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

a. Pengumpulan Data : Dataset yang digunakan terbagi menjadi dua jenis domain spektrum. Domain pertama adalah data visual RGB sekunder yang diperoleh dari platform *Roboflow Universe* yang bertindak sebagai *source domain* untuk melatih bobot dasar model. Domain kedua merupakan dataset citra termal primer yang diakuisisi secara mandiri di lapangan (*target domain*) menggunakan kamera termal Milesee TR256C pada objek area bawah perakaran kelapa sawit di Kabupaten Asahan.

b. Analisis Kondisi Mikroklimatologi Lingkungan : Tahapan ini dilakukan untuk memvalidasi kualitas citra termal yang diambil di lapangan. Data suhu ambien ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan kelembapan udara relatif (%) disinkronisasikan dengan data BMKG untuk mengidentifikasi siklus diurnitas (*diurnal cycle*). Analisis ini krusial untuk menjamin bahwa citra termal diakuisisi pada waktu dengan kontras termal optimal, sehingga model AI terbebas dari bias pantulan panas lingkungan (*thermal reflection*), sebagaimana disyaratkan dalam metodologi Hashim et al. (2021).

c. Tahap Pra-pemrosesan Data (*Preprocessing*) : Fase ini bertujuan menyamakan standarisasi format citra termal mentah melalui dua langkah komputasi:

- Standardisasi Dimensi (*Data Resizing*): Citra masukan mentah diseragamkan ukurannya secara otomatis menggunakan program komputer. Untuk modul lokalisasi YOLOv26, resolusi gambar dikunci pada dimensi 640 x 640 piksel untuk mengoptimalkan kinerja *grid cell*
- Normalisasi Matriks Piksel (*Data Normalization*): Diterapkan teknik *Z-score normalization* menggunakan nilai rata-rata (*mean*) [0,485; 0,456; 0,406] dan standar deviasi [0,229; 0,224; 0,225] yang berkiblat pada standarisasi bobot arsitektur ImageNet.

**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

d. Anotasi Data : Memetakan koordinat kotak kebenaran mutlak (*ground truth*) dengan format label tunggal (*1-Class*) yaitu pangkal\_batang pada platform Roboflow.

e. Perancangan dan Pelatihan Model Lokalisasi (YOLOv26) : Pada fase ini, dataset citra termal utuh berskala 640 x 640 piksel yang telah melalui pelabelan koordinat tunggal (*pangkal\_batang*) dialirkan ke dalam mesin detektor untuk dilatih selama 100 *epoch* dengan ukuran pembagian data (*batch size*) sebesar 16 menggunakan akselerasi GPU Tesla T4. Arsitektur *object detection* YOLOv26 diuji menggunakan dua skenario komparatif yang berbeda. Skenario pertama melatih model murni dari nol (*from scratch*) tanpa menggunakan pengetahuan awal, sedangkan skenario kedua menerapkan pendekatan *Transfer Learning* dengan memanfaatkan bobot awal (*pre-trained weights*) hasil pelatihan dari domain visual RGB sekunder. Hasil detail efektivitas lokalisasi dan analisis *Confusion Matrix* telah dipaparkan pada Bab IV, Sub-Bab 4.4.

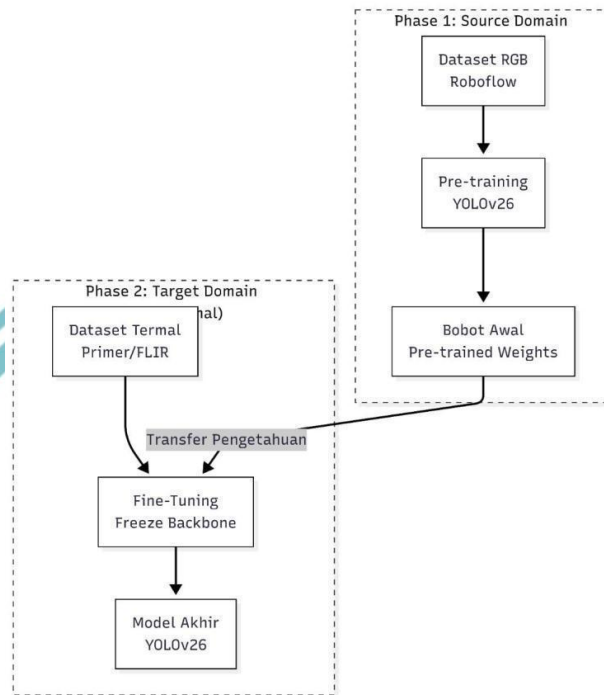
f. Evaluasi Metrik Spasial & Ekstraksi Bounding Box : Mengukur tingkat kedekatan tumpang-tindih kotak melalui rumusan matematis *Intersection over Union* (IoU) dengan batas ambang batas 0.50 untuk mengesahkan berkas bobot parameter (*best.pt*) terbaik.

g. Integrasi Model dan Pengembangan Antarmuka Web : Mengekstrak luaran parameter koordinat spasial JSON (*xmin, ymin, xmax, ymax*) hasil fungsi inferensi *backend* Python API untuk dirender menjadi komponen penanda peta (*marker layers*) interaktif menggunakan React.js dan Vite pada modul halaman *Mapping View*.

Secara spesifik, strategi pelatihan model menggunakan pendekatan *Transfer Learning* dari domain RGB ke domain Termal digambarkan pada Gambar 3.2.

**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



Gambar 3.1. Blok Diagram Strategi Transfer Learning

Proses dimulai dengan pelatihan awal pada dataset RGB (Source Domain) untuk mendapatkan bobot model, kemudian bobot tersebut ditransfer untuk melatih ulang model pada dataset termal (Target Domain). Objek penelitian berupa sistem deteksi dini dan monitoring ini dideskripsikan sebagai berikut:

1. Fungsi Utama Sistem : Melokalisasi area pangkal batang kelapa sawit pada citra termal menggunakan YOLOv26, mengklasifikasikan kondisi kesehatan dari area yang telah dilokalisasi, serta memvisualisasikan hasil keputusan tersebut ke dalam peta sebaran digital spasial dengan indikator warna representatif (Hijau melambangkan Sehat, Kuning melambangkan Scoring 1 dan 2, Orange melambangkan Scoring 3, dan Merah menandakan Scoring 4).
2. Pengguna Sistem (*User*) : Manajer perkebunan, Asisten Agronomi, dan Tim Proteksi Tanaman sebagai basis pendukung keputusan operasional.

**Hak Cipta :**

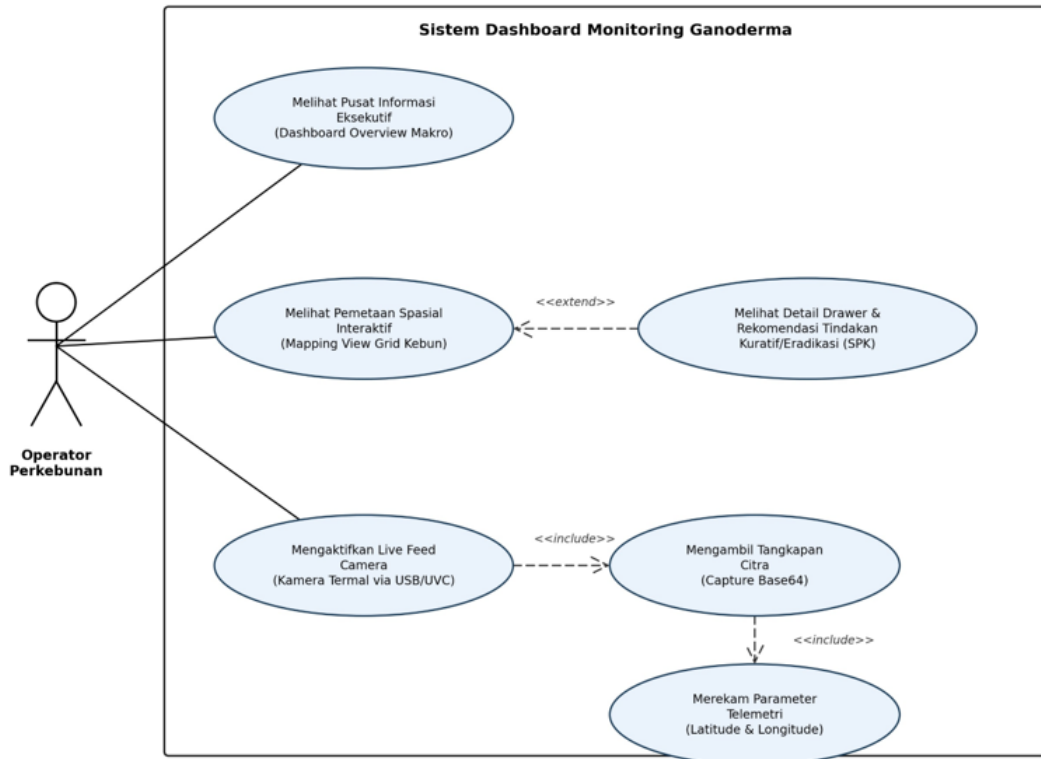
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

3. Input: Citra termal mentah (*raw thermal image*) hasil tangkapan sensor kamera genggam Mileseey TR256C.
4. Output : Antarmuka *dashboard* interaktif dinamis yang menyajikan menu *Mapping View* (Peta Sebaran Spasial) dan visualisasi grafik statistik riwayat pemindaian pohon kelapa sawit.
5. Teknologi Inti : Model AI menggunakan YOLOv26 (Lokalisasi Spasial) yang terintegrasi secara terpadu dengan API model Hybrid CNN-Transformer (Klasifikasi dari studi pendamping). Seluruh proses data dijembatani menggunakan bahasa pemrograman Python API pada sisi *backend*, serta diwujudkan dalam bentuk *frontend* web menggunakan React.js didukung *build tool* Vite untuk performa antarmuka yang responsif.

Perancangan fungsionalitas antarmuka dan hak akses pengguna di dalam sistem dipetakan secara terstruktur memanfaatkan Use Case Diagram. Diagram ini berfungsi untuk mendefinisikan batas sistem serta interaksi antara aktor operasional dengan kapabilitas fitur yang disediakan oleh platform dashboard monitoring. Hubungan interaksi aktor Operator Perkebunan terhadap sistem digambarkan pada Gambar 3.2 berikut.

### 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 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



Gambar 3.2 Use Case Diagram Sistem Dashboard Monitoring Ganoderma

Berdasarkan peta interaksi aktor pada Gambar 3.2, karakteristik fungsionalitas sistem monitoring dijabarkan melalui poin-poin penjelasan berikut:

- **Melihat Pusat Informasi Eksekutif (Dashboard Overview Makro):** Aktor memiliki akses langsung untuk memantau ringkasan visual populasi pohon kelapa sawit serta grafik tren pemindaian secara makro pada halaman utama.
- **Melihat Pemetaan Spasial Interaktif (Mapping View Grid Kebun):** Fitur inti bagi aktor untuk melihat sebaran pohon digital di atas matriks blok kebun. Fitur ini memiliki relasi ketergantungan opsional menuju fungsi **Melihat Detail Drawer & Rekomendasi Tindakan Kuratif/Eradikasi (SPK)**, yang artinya panel detail drawer dan

**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

instruksi agronomi dari sistem keputusan hanya akan muncul secara dinamis apabila aktor memilih atau mengklik salah satu marker pohon tertentu pada peta.

- Mengaktifkan Live Feed Camera (Kamera Termal via USB/UVC): Fungsi operasional bagi operator untuk menyalakan umpan video langsung dari perangkat keras kamera termal di lapangan. Menu ini memiliki hubungan wajib yang secara otomatis mengeksekusi fungsi Mengambil Tangkapan Citra (Capture Base64) saat analisis dimulai, yang kemudian secara berantai mewajibkan sistem menjalankan fungsi Merekam Parameter Telemetry (Latitude & Longitude) guna mengunci data spasial posisi pohon secara otomatis ke dalam log database.

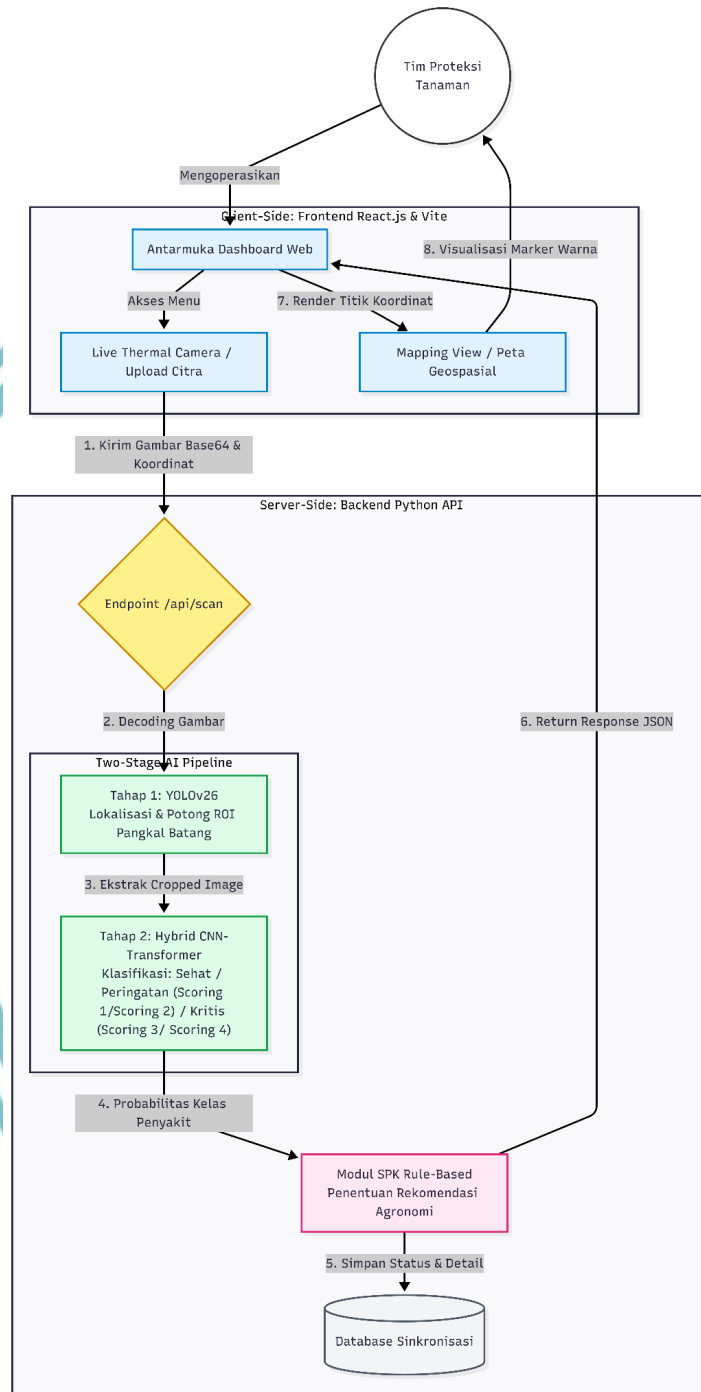
Sistem dirancang terdiri dari dua modul utama yaitu Modul Deteksi (*AI Model*) dan Modul Visualisasi (*Dashboard UI*) yang mana alus sistemnya tertera pada Gambar 3.4



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



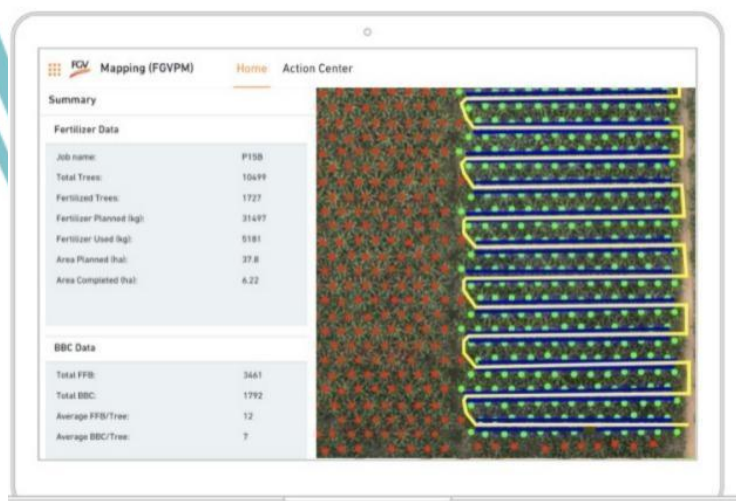
Gambar 3.3. Alur Sistem

### 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Mekanisme kerja sistem diawali dengan tahap Input, di mana sistem menerima unggahan citra termal dari pengguna melalui halaman antarmuka web. Data citra tersebut diproses pada tahap Inference Lokalisasi menggunakan model YOLOv26 untuk melokalisasi area pangkal batang tanaman dan menghasilkan output berupa koordinat batas luar (bounding box). Area koordinat tersebut kemudian dipotong secara otomatis (*cropped image*) untuk diteruskan ke tahap Inference Klasifikasi. Pada tahap ini, gambar potongan diproses oleh model klasifikasi terbaik hasil uji komparatif untuk ditentukan status kesehatannya (Sehat, Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, Scoring 4).

Sebagai output akhir, seluruh informasi disajikan melalui Visualisasi Dashboard berbasis web yang dikembangkan dengan framework React dan Vite. Antarmuka ini membaca data spasial untuk menampilkan Mapping View, yang memetakan posisi keberadaan objek secara digital pada antarmuka web, lengkap dengan indikator warna tingkat kesehatan tanaman secara representatif guna mendukung pengambilan keputusan manajerial.



**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

Gambar 3.4. Ilustrasi Visualisasi Peta Sebaran Kesehatan Tanaman (Sumber: Referensi Mitra Industri)

### 3.2. Sumber Data

Penelitian ini mengombinasikan dua jenis domain spektrum data, yaitu data sekunder sebagai source domain untuk proses pre-training arsitektur deteksi objek, serta data primer citra termal lapangan sebagai target domain untuk fine-tuning dan pengujian komparatif sistem dua tahap.

#### 1. Dataset Lokalisasi Spasial (YOLOv26)

Dataset untuk pemodelan lokalisasi area pangkal batang kelapa sawit dibagi berdasarkan asal spektrum citra, dengan rincian sebagai berikut :

- Data Sekunder (Spektrum RGB / Pre-training): Diperoleh dari repositori publik Roboflow Universe yang dikurasi oleh Bina Nusantara University dengan menggabungkan (merging) dua dataset terpisah ("Oil Palm Ganoderma Detection" dan "Oil Palm Ganoderma Detection 2"). Dataset gabungan ini berisi 900 citra visual (RGB) yang dimanfaatkan untuk membentuk bobot dasar (pre-trained weights) awal model.
- Data Primer (Spektrum Termal / Fine-tuning): Diperoleh dari hasil anotasi mandiri di platform Roboflow sebanyak 1.425 citra termal menggunakan format label tunggal (1-Class) yaitu pangkal\_batang. Skenario pelatihan data termal YOLOv26 ini menerapkan partisi rasio standar hold-out validation 70% data latih, 20% data validasi, dan 10% data uji.

**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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

## 2. Dataset Citra Potongan (*Cropped Images*) Pasokan Klasifikasi

Untuk mendukung proses evaluasi sistem pemantauan perkebunan secara menyeluruh dari total keseluruhan hari pengambilan data di lapangan, disiapkan dataset citra potongan khusus area perakaran (*Region of Interest*).

- Total Citra Awal : Terdiri dari 1.861 citra termal yang dianotasi ke dalam 5 kriteria skala keparahan lapangan milik mitra industri perkebunan (PT Bakrie Sawit Unggul), yaitu kelas Sehat serta kelas sakit Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, dan Scoring 4.
- Pembersihan Pasca-Cropping Otomatis : Akibat karakteristik keterbatasan fungsional detektor spasial YOLOv26 pada kondisi noise luar ruangan, terdapat 40 citra yang gagal terdeteksi/terpotong secara otomatis.
- Volume Akhir Klasifikasi : Proses lokalisasi menghasilkan 1.821 citra potongan sukses yang berhasil diisolasi dari latar belakangnya. Seluruh citra potongan ini diekstraksi oleh sistem dan disediakan dalam bentuk repositori data terstruktur yang siap dialirkan melalui integrasi rute API (*Application Programming Interface*) menuju modul klasifikasi *Hybrid CNN-Transformer* milik riset pendamping.

## 3.3 Teknik Pengumpulan Data

1. Studi Pustaka (*Library Research*) : Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan data sekunder berupa landasan teori, rumus matematis, dan pustaka algoritma. Pustaka teori mengenai anomali perakaran termal akibat infeksi *Ganoderma* bersumber dari jurnal internasional bereputasi (*IEEE Xplore* dan *ScienceDirect*). Sementara itu, dokumentasi teknis resmi (*Official Documentation*) dari repositori GitHub Ultralytics digunakan sebagai acuan arsitektur dan parameter komputasi algoritma YOLOv26.

**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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Observasi Lapangan : Teknik ini digunakan untuk mengumpulkan data primer berupa citra termal batang kelapa sawit secara langsung melalui standardisasi pengambilan data di lapangan.

a. Lokasi dan Waktu : Pengambilan data dilakukan di Kecamatan Kota Kisaran Timur, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara menggunakan kamera termal Mileseey TR256C dengan spesifikasi resolusi 256x192 pada waktu pagi (06.00-09.00 WIB) dan sore (16.00-18.00 WIB) untuk mendapatkan kontras suhu objek yang optimal.

b. Protokol geometris pengambilan gambar : Protokol pengumpulan citra termal primer di lapangan mengadopsi standar lembar data multi-sudut pandang (multi-view data sheet). Merujuk pada karakteristik dataset penandaan gejala Ganoderma yang dikembangkan oleh Hashim et al. (2021) pada draf registrasi Tree ID, setiap individu objek kelapa sawit wajib direkam melalui tiga sudut pandang spasial yang berbeda (Three Field of Views: View-1, View-2, dan View-3). Langkah ini krusial untuk menangkap sebaran kerusakan internal (trunk fiber/damage) yang melingkar secara asimetris pada pangkal batang bawah, sebelum koordinat spasial tersebut diisolasi secara otomatis oleh kisi-kisi algoritma YOLOv26 (Hashim et al., 2021) Proses pengambilan gambar di lapangan diatur menggunakan tata letak geometris yang terstandarisasi demi menjamin konsistensi skala spasial (*spatial scale*) dan distribusi intensitas piksel termal pada seluruh dataset primer. Jarak horizontal antara lensa kamera termal Mileseey TR256C dengan objek pangkal batang kelapa sawit dikunci secara konsisten sejauh 5 meter.

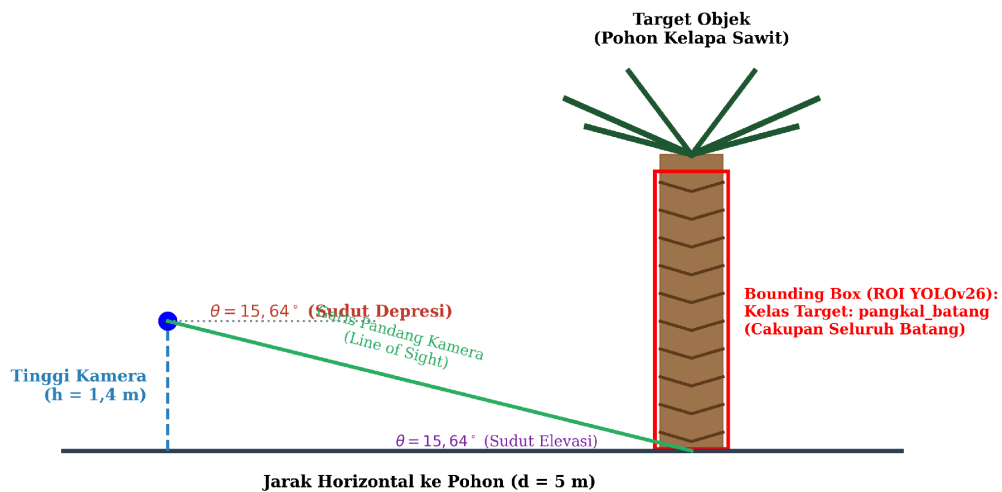
Kamera diposisikan secara stabil setinggi dada operator lapangan, yaitu 1,40 meter dari permukaan tanah (berdasarkan tinggi dada rekan operator lapangan yang memiliki tinggi badan 178 cm). Dengan orientasi target terfokus pada area bawah perakaran (*basal stem*), lensa kamera dikondisikan membentuk sudut depresi (*angle of depression* / kemiringan ke bawah) sebesar  $15,64^{\circ}$  terhadap garis horizontal. Pembatasan sudut dan jarak ini krusial untuk meminimalkan efek distorsi sudut

### 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

pandang (*viewing angle effect*) yang dapat membiaskan pembacaan emisi radiasi panas objek tanaman. Ilustrasi skema geometris dan rumus perhitungan sudut depresi disajikan di persamaan 3.1

$$\tan(\theta) = \frac{TinggiKamera(h)}{JarakHorizontalkePohon(d)} = \frac{1,4m}{5m} = 0,28 = \arctan(0,28) \approx 15,64^{\circ}$$



Gambar 3.5. Diagram Geometri Protokol Akuisisi Citra Termal Berdasarkan Parameter Sudut Depresi dan Elevasi Kamera.

### 3. Dokumentasi Dataset Publik :

Teknik ini digunakan untuk mengakuisisi dataset *source domain* (visual RGB) melalui platform Roboflow Universe. Dataset sekunder ini bertindak sebagai modalitas data awal yang digunakan untuk melatih bobot dasar (*pre-trained weights*) model YOLOv26 dalam skenario *Cross-Domain Transfer Learning*.

**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

### 3.4 Teknik Analisis dan Pengujian Sistem

Teknik analisis data dan prosedur pengujian sistem pada penelitian ini dibagi menjadi beberapa skenario terstruktur untuk memastikan jalannya eksperimen dapat terukur secara saintifik dan runtut. Struktur skenario evaluasi tersebut dirancang secara berurutan (1-to-1 mapping) sebagai landasan utama penyajian hasil dan pembahasan pada BAB IV, dengan rincian sebagai berikut :

#### 3.4.1. Analisis Kondisi Mikroklimatologi Lingkungan

Teknik ini digunakan untuk menganalisis log harian kondisi cuaca luar ruangan saat fase akuisisi citra termal dilakukan di lapangan. Data parameter berupa suhu ambien (*ambient temperature* dalam °C) dan kelembapan udara relatif (*relative humidity* dalam %) yang dicatat dari stasiun meteorologi dan sinkronisasi log lapangan akan dipetakan secara temporal. Analisis ini bertujuan untuk membuktikan secara fisis fluktuasi siklus diurnitas (*diurnal cycle*) yang memengaruhi emisi radiasi panas objek, sebagai landasan konteks fisis sebelum menguji model AI. Hasil analisis log lingkungan ini disajikan pada **BAB IV Sub-Bab 4.1.**

#### 3.4.2 Analisis Distribusi dan Partisi Volume Dataset

Teknik ini digunakan untuk menganalisis karakteristik kuantitas dan sebaran sampel citra termal hasil pra-pemrosesan sebelum memasuki fase pelatihan (*training*). Untuk mengatasi sebaran kuantitas sampel yang tidak merata antar-kelas stadium infeksi hasil *cropping* (di mana kelas Sehat dan Scoring 4 mendominasi secara signifikan dibandingkan Scoring 1), penelitian ini mengadopsi metode penyeimbangan data berbasis algoritma penyeimbang pembelajaran. Mengacu pada landasan eksperimental milik Hashim et al. (2021) dan Husin et al. (2024), manipulasi penyeimbangan data level swasampel maupun penggunaan arsitektur berbasis pembobotan kelas penalti (*Class Weighting/Bagging*) sangat direkomendasikan untuk memaksimalkan sensitivitas daya ingat (*Recall*) jaringan saraf dalam terhadap kelas

**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

minoritas (Scoring 1), sehingga model tidak mengalami bias klasifikasi terhadap kelas mayoritas. Data kemudian dipartisi menggunakan rasio standar menjadi data latih (*training set*), data validasi (*validation set*), dan data uji (*testing set*) independen. Hasil pemetaan volume data ini disajikan pada **BAB IV Sub-Bab 4.2**.

### 3.4.3. Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak (User Requirement)

Teknik analisis ini digunakan untuk memetakan spesifikasi parameter, fitur, and batasan operasional dari platform Dashboard Monitoring yang akan dibangun berdasarkan kebutuhan tim proteksi tanaman di lapangan. Analisis ini dibagi menjadi dua komponen utama, yaitu kebutuhan fungsional (*functional requirements*) yang mencakup kendali live camera, pemetaan spasial, and informasi grafik analitik, serta kebutuhan non-fungsional (*non-functional requirements*) yang berfokus pada aspek performa rendering and keandalan server. Rincian spesifikasi kebutuhan sistem ini dipaparkan pada **BAB IV Sub-Bab 4.3**.

### 3.4.4. Skenario Eksperimen Modul Lokalisasi (YOLOv26)

Teknik analisis ini dirancang menggunakan skema eksperimen komparatif untuk menemukan konfigurasi arsitektur terbaik dalam mengenali letak pangkal batang kelapa sawit pada spektrum inframerah. Jalannya pelatihan dikendalikan penuh oleh dua skenario uji utama :

- Skenario A (Pelatihan From Scratch): Jaringan detektor YOLOv26 diinisialisasi dengan bobot kosong (acak) dan dilatih murni mengandalkan asupan karakteristik radiasi panas citra termal primer sepanjang 100 epoch.
- Skenario B (Pendekatan Cross-Domain Transfer Learning): Memanfaatkan bobot awal (*pre-trained weights*) hasil pelatihan pada domain visual RGB sekunder (Roboflow), untuk kemudian dilakukan penyetelan halus (*fine-tuning*) menggunakan citra termal primer sepanjang 100 epoch. Hasil analisis kurva *loss* dan kronologi perbandingan kedua skenario ini dipaparkan pada **BAB IV Sub-Bab 4.4**.

**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

### 3.4.5. Evaluasi Kuantitatif Performa Spasial Deteksi Objek

Evaluasi pada tahap lokalisasi difokuskan untuk mengukur tingkat kepresisian model YOLOv26 dalam mengisolasi kotak koordinat pangkal batang kelapa sawit (pangkal\_batang). Parameter utama yang digunakan adalah *Intersection over Union* (IoU) untuk menghitung rasio tumpang tindih antara kotak prediksi (*Bounding Box Pred*) dengan kotak kebenaran asli lapangan (*Bounding Box Ground Truth*), yang dirumuskan pada persamaan 3.1.

$$IoU = \frac{\text{Area of Overlap}}{\text{Area of Union}} = \frac{|B_{\text{pred}} \cap B_{\text{gt}}|}{|B_{\text{pred}} \cup B_{\text{gt}}|} \dots\dots\dots(3.2)$$

Berdasarkan nilai ambang batas IoU sebesar 0.50, performa kedekatan model dihitung menggunakan metrik *Mean Average Precision* (mAP@50), yang merupakan rata-rata nilai *Average Precision* (AP) di persamaan 3.2 seluruh kelas objek (dalam penelitian ini merupakan kelas tunggal), melalui persamaan interpolasi luasan kurva *Precision-Recall* pada persamaan 3.3.

$$AP = \int_0^1 p(r) dr \dots\dots\dots(3.3)$$

Metrik utama penentu keberhasilan deteksi objek dievaluasi melalui nilai Mean Average Precision (mAP@50) pada Persamaan 3.4, yang merupakan nilai rata-rata AP di seluruh kelas target (N):

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \dots\dots\dots(3.4)$$

### 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

Untuk memetakan fatalitas kesalahan model secara detail pada data uji set validasi, instansi nilai dihitung dari tabel *Confusion Matrix* objek deteksi melalui metrik berikut :

1. Akurasi Presisi (*Precision*) : Mengukur tingkat ketepatan kotak prediksi sistem terhadap objek asli untuk menekan galat *False Positive* (salah deteksi latar belakang).

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \dots\dots\dots(3.5)$$

2. Sensitivitas Daya Ingat (*Recall*) : Mengukur sensitivitas sistem dalam menjangkau seluruh objek pangkal batang di lapangan untuk menekan galat *False Negative* (lolos deteksi pohon).

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \dots\dots\dots(3.6)$$

3. F1-Score : Nilai representasi titik keseimbangan (*harmonic mean*) rata-rata tertimbang antara hasil pengujian nilai *Precision* dan *Recall*.

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan parameter matriks:

- TP (*True Positive*): Jumlah data positif yang diprediksi secara benar oleh sistem.
- TN (*True Negative*): Jumlah data negatif yang diprediksi secara benar oleh sistem.
- FP(*False Positive*): Jumlah data negatif yang salah diprediksi sebagai data positif oleh sistem (Alarm Palsu).
- FN (*False Negative*): Jumlah data positif yang salah diprediksi sebagai data negatif oleh sistem (Lolos Deteksi).

**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

Hasil pengujian kuantitatif dan bukti visualisasi kotak pembatas (*bounding box*) ini disajikan pada **BAB IV Sub-Bab 4.5.1 dan 4.5.2.**

#### 3.4.6. Analisis Integrasi Pipa Data Komparatif Sistem Pemantauan

Tahap ini merupakan analisis rekayasa perangkat lunak untuk menguji keandalan interkoneksi pipa data terintegrasi. Analisis difokuskan pada kemampuan arsitektur *backend* Python API dalam mengonversi luaran koordinat kotak pembatas (*bounding box* JSON) YOLOv26 menjadi fungsi pemotongan gambar otomatis (*auto-cropped image*).

Infrastruktur pipa data ini dianalisis kekuatannya dalam menjembatani penyaluran data citra potongan menuju komponen *endpoint* API model klasifikasi *Hybrid CNN-Transformer* dari riset kelompok pendamping (Fandi), sehingga penyatuan data spasial dan status diagnosis stadium penyakit dapat terwujud secara hibrida. Hasil analisis alur integrasi sistem ini disajikan pada **BAB IV Sub-Bab 4.6.**

#### 3.4.7. Analisis Diskusi Komparatif dengan Penelitian Terdahulu

Teknik analisis ini digunakan sebagai instrumen pengujian validitas eksternal untuk mengukur seberapa besar kontribusi ilmiah (*scientific contribution*) serta keandalan fungsional dari pipeline kecerdasan buatan dan platform sistem web yang telah dikembangkan. Prosedur ini dilakukan melalui metode diskusi komparatif secara head-to-head antara hasil parameter eksperimen riil penelitian ini dengan capaian konstanta pada beberapa riset internasional terdahulu. Melalui pendekatan naratif komparatif, seluruh luaran metrik spasial, fenomena komputasi, dan efisiensi arsitektur sistem akan dibedah secara kritis guna memberikan justifikasi teoretis yang kuat sebelum sistem diimplementasikan secara praktis pada operasional industri perkebunan kelapa sawit.

Evaluasi komparatif pertama difokuskan pada pengujian performa metrik spasial arsitektur YOLOv26 terhadap hasil uji model versi pendahulu, seperti YOLOv8 dan

**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

YOLOv9, yang diteliti oleh Tripathi et al. (2025) dalam mendeteksi penyakit tanaman secara real-time. Analisis ini ditekankan pada kekuatan ekstraksi fitur multi-skala model dalam meminimalkan nilai False Negative pada spektrum inframerah termal. Selain itu, aspek metodologi mengenai pengaruh pemindahan pengetahuan lintas spektrum silang (cross-domain) juga dianalisis. Hasil eksperimen dari Skenario A (From Scratch) dan Skenario B (Transfer Learning dari RGB) akan disandingkan secara kritis dengan teori adaptasi domain milik Haw et al. (2023) untuk membuktikan eksistensi dampak domain shift bias yang dapat membiaskan fokus sensor detektor pada citra termal lapangan.

Selanjutnya, analisis diarahkan pada evaluasi tingkat kedalaman keputusan operasional perkebunan (operational decision level) melalui perbandingan tata letak metodologi. Pendekatan lokalisasi spasial otomatis berbasis kamera handheld pada perangkat lunak dalam penelitian ini akan diadu secara metodologis dengan model klasifikasi biner global manual dari Hashim et al. (2021) guna menguji efektivitas kotak pembatas (bounding box) dalam mereduksi noise radiasi tanah perkebunan. Terakhir, efisiensi waktu deteksi dini (early detection window) sistem ini akan dievaluasi secara teoritis dengan metode indeks vegetasi tajuk daun makro berbasis wahana drone milik Wahyuni et al. (2024). Melalui penyusunan paragraf komparatif yang komprehensif ini, posisi penelitian dan nilai kontribusi operasional dari platform dashboard monitoring web yang dibangun dapat tervalidasi dengan matang pada **BAB IV Sub-Bab 4.7.**

#### 3.4.8. Pengujian Fungsional Dashboard Monitoring Berbasis Web

Pengujian tahap akhir difokuskan pada aspek hilirisasi perangkat lunak menggunakan metode *Black Box Testing*. Prosedur pengujian fungsional ini dirancang melalui matriks skenario uji untuk mengamati perilaku input dan output pada komponen antarmuka klien tanpa mengintervensi struktur kode internal program. Parameter keberhasilan diukur berdasarkan validitas fungsionalitas tombol kontrol akuisisi citra,



## © 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

route API inferensi *backend*, rendering komponen penanda *marker* spasial pada *Mapping View*, serta responsivitas transisi navigasi halaman web. Hasil pengujian fungsional sistem ini dijabarkan pada **BAB IV Sub-Bab 4.8.**



**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 IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Analisis Karakteristik Klimatologi dan Lingkungan Pengambilan Data

Proses akuisisi dataset primer citra termal kelapa sawit di Kecamatan Kota Kisaran Timur, Kabupaten Asahan dilaksanakan secara berkala sejak tanggal 20 Mei hingga 30 Mei 2026. Pengambilan data dirancang secara temporal pada dua waktu spesifik, yaitu pagi hari (06.00–09.00 WIB) dan sore hari (16.00–18.00 WIB) untuk menghindari bias matahari.. Pemilihan waktu ini didasarkan pada teori fluktuasi termal lingkungan untuk mendapatkan kontras termal (*thermal contrast*) tertinggi antara jaringan tanaman yang sehat dengan jaringan yang mengalami cekaman fisiologis akibat infeksi *Ganoderma*.

Kondisi mikroklimatologi lingkungan berupa suhu ambien (*ambient temperature*) dan kelembapan udara relatif (*relative humidity*) dicatat secara berkala selama fase pengambilan data lapangan. Rangkuman log kondisi lingkungan disajikan pada **Tabel 4.1** berikut.

**Tabel 4.1** Log Kondisi Mikroklimatologi Pengambilan Dataset Termal

| No | Hari/Tanggal       | Waktu        | Suhu (°C) | Kelembapan Relatif (%) | Kondisi Cuaca / Keterangan |
|----|--------------------|--------------|-----------|------------------------|----------------------------|
| 1  | Rabu, 20 Mei 2026  | Pagi (06.00) | 24        | 93                     | Cerah                      |
|    |                    | Sore (16.00) | 31        | 75                     | Cerah Berawan              |
| 2  | Kamis, 21 Mei 2026 | Pagi (06.00) | 25        | 92                     | Cerah                      |
|    |                    | Sore (16.00) | 32        | 74                     | Cerah                      |
| 3  | Jumat, 22 Mei 2026 | Pagi (06.00) | 24        | 94                     | Cerah                      |
|    |                    | Sore (16.00) | 32        | 75                     | Cerah Terik                |
| 4  | Sabtu, 23 Mei 2026 | Pagi (06.30) | 24.5      | 93                     | Cerah                      |

**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

|    |                     |              |    |    |               |
|----|---------------------|--------------|----|----|---------------|
|    |                     | Sore (16.00) | 30 | 77 | Cerah Terik   |
| 5  | Minggu, 24 Mei 2026 | Pagi (06.00) | 25 | 94 | Cerah         |
|    |                     | Sore (16.00) | 30 | 77 | Mendung       |
| 6  | Senin, 25 Mei 2026  | Pagi (06.00) | 24 | 95 | Berawan       |
|    |                     | Sore (16.00) | 31 | 78 | Hujan Ringan  |
| 7  | Selasa, 26 Mei 2026 | Pagi (06.00) | 25 | 93 | Cerah         |
|    |                     | Sore (16.00) | 32 | 75 | Cerah Berawan |
| 8  | Rabu, 27 Mei 2026   | Pagi (06.00) | 24 | 94 | Cerah         |
|    |                     | Sore (16.00) | 33 | 72 | Cerah Terik   |
| 9  | Kamis, 28 Mei 2026  | Pagi (06.00) | 25 | 92 | Cerah         |
|    |                     | Sore (16.00) | 31 | 76 | Berawan       |
| 10 | Jumat, 29 Mei 2026  | Pagi (06.00) | 24 | 95 | Berawan       |
|    |                     | Sore (16.00) | 30 | 79 | Hujan Ringan  |
| 11 | Sabtu, 30 Mei 2026  | Pagi (06.00) | 25 | 93 | Cerah         |
|    |                     | Sore (16.00) | 32 | 74 | Cerah Berawan |

**Sumber:** Data online BMKG wilayah harian Sumatera Utara yang disinkronisasikan dengan data log aktual lapangan.

Berdasarkan log kondisi mikroklimatologi pada Tabel 4.1, terdapat perbedaan karakteristik termal yang kontradiktif antara sesi pagi dan sore hari, yang dipengaruhi oleh siklus diurnitas luar ruangan. Sesuai dengan temuan empiris Hashim et al. (2021) pada Section 3.1, nilai temperatur rata-rata  $T(\text{mean})$  objek yang terinfeksi Ganoderma terbukti menunjukkan kontras radiometrik yang jauh lebih tinggi dan stabil hanya pada sesi pagi hari (pukul 07.30–10.00 WIB) . Sebaliknya, pada sesi sore, karakteristik pendaran panas mengalami distorsi fisis karena jaringan kayu yang membusuk memiliki kapasitas termal yang lebih rendah, sehingga kehilangan panas secara lebih cepat saat suhu udara luar menurun (Hashim et al., 2021 pada Section 4.1). Oleh karena itu, penelitian ini memprioritaskan citra termal pagi hari sebagai

### Hak Cipta :

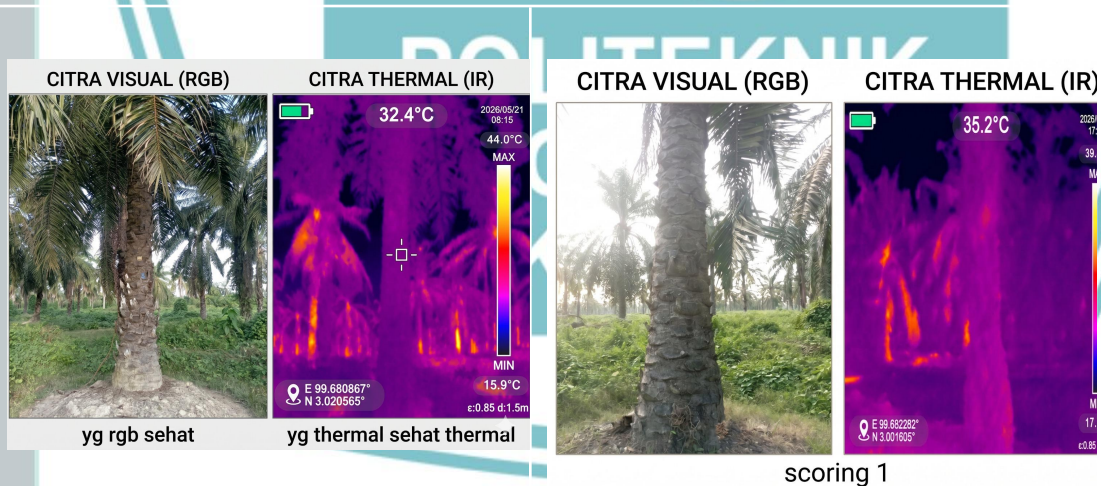
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

modalitas utama dalam pipeline inferensi AI untuk menjamin generalisasi model yang bebas dari bias pantulan lingkungan

## 4.2 Sebaran Akhir Volume Dataset Eksperimen

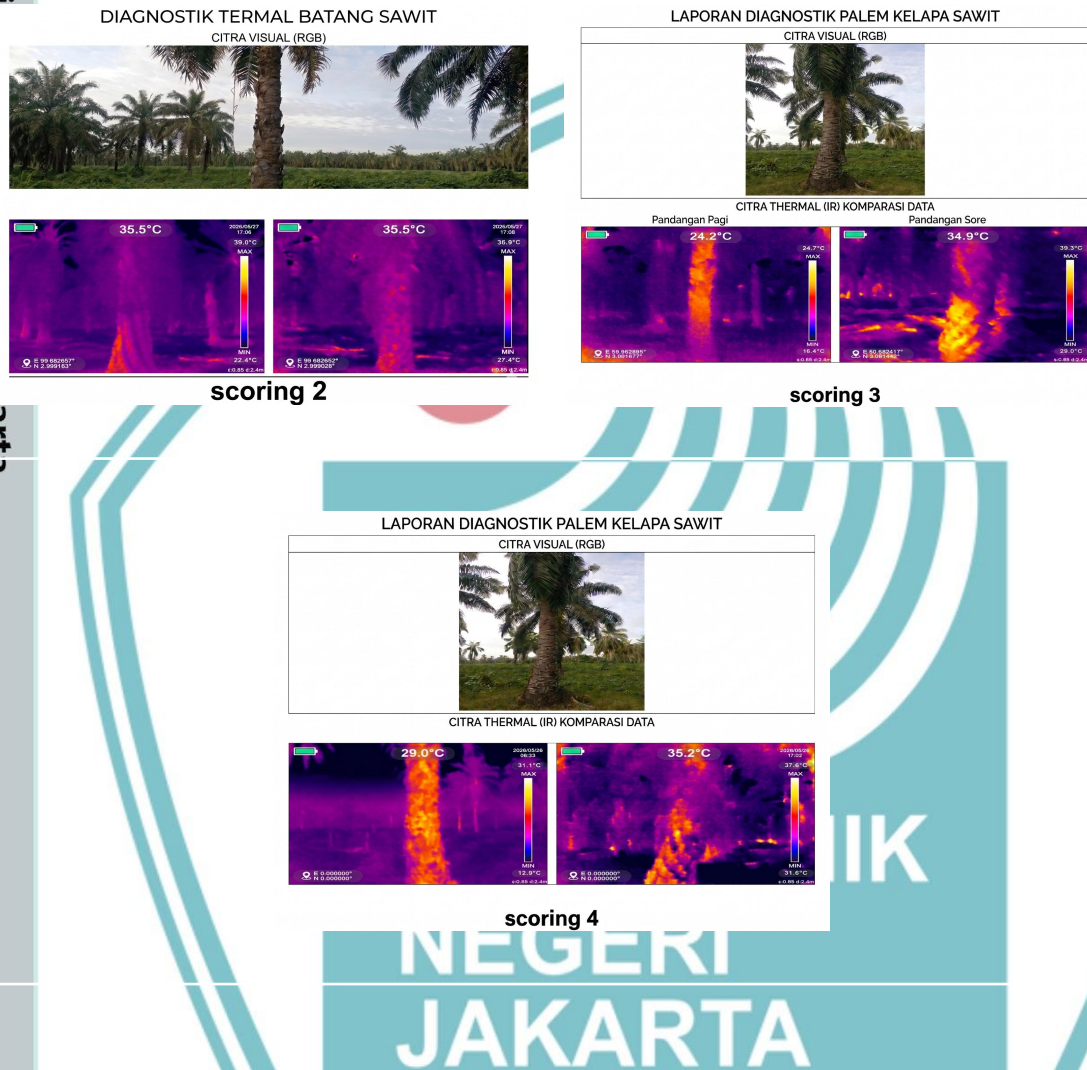
Sebagai bentuk validasi terhadap karakteristik data hasil pra-pemrosesan (preprocessing) sebelum memasuki tahapan pelatihan (training) model lokalisasi dan fase inferensi (inference) pada sistem terintegrasi, dilakukan pemetaan volume data.

Volume dataset dalam penelitian ini dipisahkan berdasarkan dua fungsi utama perangkat lunak, yaitu dataset primer untuk melatih detektor spasial YOLOv26 (1.425 citra) dan akumulasi total seluruh citra potongan (cropped images) hasil ekstraksi otomatis pipa data (1.821 citra). Karakteristik perbedaan visualisasi pendaran panas secara termal untuk masing-masing kelas jika dibandingkan dengan citra optik konvensional (RGB) disajikan pada Gambar 4.1.



## 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



**Gambar 4.1.** Perbandingan Karakteristik Gejala Visual Citra Konvensional (RGB) dan Pendaran Radiasi Peta Panas Citra Termal pada Kategori Kesehatan Kelapa Sawit (Berat, Peringatan, dan Sehat)

**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

Sebaran karakteristik sebaran volume data latih (*training*), data validasi (*validation*), dan data uji (*testing*) untuk kedua modul kecerdasan buatan setelah melalui pemisahan rute folder otomatis dijabarkan secara rinci pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.2** Matriks Distribusi Akhir Dataset Pemodelan AI

| Modul Eksperimen AI       | Domain Citra             | Kelas Target Label                                        | Data Latih                      | Data Validasi              | Data Uji                   | Total Sampel                    | Rasio Partisi |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| Lokalisasi<br>(YOLOv26)   | Citra Termal Utuh        | pangkal_batang                                            | 1000                            | 283                        | 141                        | 1425                            | 70:20:10      |
| Modul Pasokan Klasifikasi | Citra Potongan (Cropped) | Sehat<br>Scoring 1<br>Scoring 2<br>Scoring 3<br>Scoring 4 | 416<br>105<br>226<br>223<br>303 | 89<br>22<br>48<br>47<br>64 | 90<br>24<br>49<br>49<br>66 | 595<br>151<br>323<br>319<br>433 | 70:15:15      |
| Gagal Deteksi             | Noise Latar              |                                                           |                                 |                            |                            | 40                              |               |

Berdasarkan Tabel 4.2, perbedaan penentuan metode dan volume data didasarkan pada tujuan komputasi fungsional dari masing-masing arsitektur sistem. Untuk modul lokalisasi YOLOv26, partisi 70:20:10 diaplikasikan sebagai rasio standar bawaan (default) yang paling optimal untuk melatih detektor single-stage dalam mengisolasi satu objek target spasial (pangkal\_batang) dari noise lingkungan perkebunan. Sesuai dengan kaidah Azmi et al. (2021), metode pembagian data hold-out ini sangat direkomendasikan sebagai pendekatan validasi independen untuk menghindari risiko

**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

generalisasi model yang timpang (over-generalization) pada citra terestrial perkebunan.

Sebaliknya, untuk bagian akumulasi citra potongan (cropped images), pipa data otomatis yang ditenagai oleh model YOLOv26 terbaik dikondisikan untuk memproses total 1.861 citra termal mentah dari keseluruhan hari pengambilan data di lapangan perkebunan PT Bakrie Sawit Unggul. Proses penyaringan ini berhasil mengisolasi 1.821 citra potongan sukses dan menyisakan 40 citra gagal deteksi akibat kendala noise radiasi panas bumi yang ekstrem.

Sesuai dengan rujukan akademis Hashim et al. (2021) dan Husin et al. (2024), sebaran kuantitas data penyakit di lapangan pertanian presisi mayoritas bersifat timpang atau tidak seimbang (unbalanced dataset), di mana jumlah kelas Sehat (595 citra) dan Scoring 4 (433 citra) mendominasi secara signifikan dibandingkan kelas minoritas Scoring 1 (151 citra). Oleh karena itu, pengelompokan volume data hasil ekstraksi ini diformat secara terstruktur ke dalam partisi evaluasi terintegrasi 70:15:15. Struktur folder data yang rapi ini disiapkan oleh sistem untuk dialirkan langsung melalui rute Python API menuju modul klasifikasi Hybrid CNN-Transformer milik riset kelompok pendamping, sehingga pihak klasifikasi dapat menerapkan strategi penyeimbangan data seperti Random Oversampling (ROS) secara adil pada setiap batch latihan mereka.

#### 4.3. Analisis Kebutuhan Sistem (*User Requirement*)

Analisis kebutuhan dilakukan untuk memetakan seluruh spesifikasi parameter dan fungsionalitas sistem monitoring yang akan dibangun, sehingga mampu menjawab problem operasional tim proteksi tanaman di lapangan secara tepat. Berdasarkan analisis terhadap alur kerja *Two-Stage Pipeline AI* dan hilirisasi dashboard, kebutuhan

**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 dipecah menjadi dua kategori utama, yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional.

#### 4.3.1. Kebutuhan Fungsional (*Functional Requirements*)

Kebutuhan fungsional mendefinisikan fitur-fitur dan kapabilitas interaksi yang wajib disediakan oleh sistem monitoring, meliputi rincian berikut :

1. Sistem Akuisisi Data : Sistem harus mampu mengintegrasikan konektivitas perangkat keras kamera termal (*via USB/UVC*) untuk menerima masukan umpan gambar langsung (*live feed*) dari lapangan pada halaman antarmuka web.
2. Eksekusi Pipeline AI Dua Tahap : Sistem secara otomatis harus mampu menjalankan fungsi lokalisasi koordinat spasial objek (*pangkal\_batang*) menggunakan model YOLOv26, melakukan pemotongan gambar otomatis (*cropped image*), dan menjembatani pengiriman data spasial tersebut menuju *endpoint* API model klasifikasi *Hybrid CNN-Transformer* milik studi pendamping guna memperoleh keputusan diagnosis stadium kesehatan tanaman secara hibrid.
3. Visualisasi Geospasial (*Mapping View*) : Antarmuka dashboard harus mampu merender komponen penanda (*marker*) interaktif di atas matriks blok perkebunan secara realtime berdasarkan parameter JSON dari backend.
4. Indikator Status Kesehatan : Sistem fungsional wajib menampilkan representasi warna penanda marker yang konsisten sebagai instrumen pendukung keputusan operasional, yaitu: warna Hijau melambangkan kondisi Sehat, warna Kuning melambangkan status Peringatan (Scoring 1 dan 2), warna Jingga/Orange melambangkan Scoring 3, dan warna Merah menandakan kondisi Kritis (Scoring 4).
5. Pusat Informasi Eksekutif (*Dashboard Overview*) : Halaman utama wajib menyajikan ringkasan visual (*executive summary*) dalam bentuk kartu statistik

**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

populasi pohon, grafik garis tren pemindaian bulanan, dan grafik batang distribusi status kesehatan per blok perkebunan.

#### 4.3.2. Kebutuhan Non-Fungsional (Non-Functional Requirements)

Kebutuhan non-fungsional berfokus pada aspek performa, batasan teknologi, dan kualitas teknis operasional sistem perangkat lunak, yang dijabarkan sebagai berikut :

1. Performa Rendering Antarmuka : Kompilan frontend web harus memiliki kecepatan eksekusi komponen UI yang tinggi (*high rendering performance*), responsif, dan bebas dari gejala penundaan (*lag*) saat memproses data koordinat spasial berskala besar melalui optimasi sistem *Native ESM* dari *build tool Vite* dan *framework React.js*.
2. Efisiensi Manajemen Memori : Sistem web klien harus mampu mengelola transisi perpindahan antar-rute halaman internal (*Overview, Live Cam, Maps*) melalui arsitektur komponen *Single Page Application (SPA)* tanpa melakukan pemuatan ulang halaman (*reload*) secara penuh.
3. Keandalan Inferensi Backend : Arsitektur backend berbasis *Python API* harus mampu memproses pertukaran data JSON dan mengeksekusi pipeline inferensi kecerdasan buatan secara stabil tanpa mengalami kendala malafungsi (*crash*) pada server.

#### 4.4. Hasil Pelatihan Model Lokalisasi (YOLOv26)

Pengujian tahap pertama berfokus pada evaluasi performa algoritma object detection YOLOv26 dalam melokalisasi koordinat area pangkal batang kelapa sawit (*pangkal\_batang*) pada citra termal. Pelatihan dibagi menjadi dua skenario pengujian

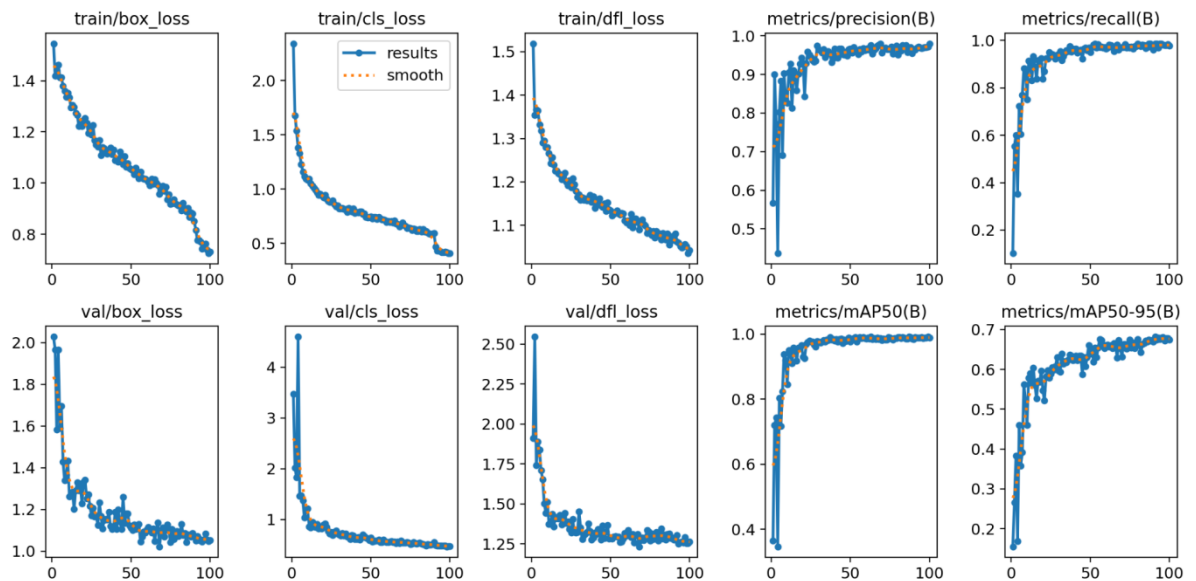
## Hak Cipta :

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

untuk mengevaluasi efektivitas pemindahan pengetahuan melalui strategi *Transfer Learning*.

### 4.4.1. Skenario A : Pelatihan Tanpa *Transfer Learning* (*From Scratch*)

Pada skenario ini, arsitektur YOLOv26 diinisialisasi menggunakan bobot acak (kosong) dan dilatih langsung menggunakan dataset citra termal primer dari nol (*from scratch*). Laporan evaluasi akhir pada dataset validasi menunjukkan hasil performa global yang sangat tinggi, dengan nilai *Mean Average Precision* (mAP@50) mencapai **98,92%**, tingkat ketepatan (*Precision*) global sebesar **96,44%**, daya ingat sensitivitas (*Recall*) mencapai **98,59%**, serta nilai keseimbangan akurasi *F1-Score* sebesar **97,50%**.



Gambar 4.1 Kurva Pelatihan (Loss dan mAP) YOLOv26 Tanpa Transfer Learning

Berdasarkan visualisasi grafik log pelatihan pada Gambar 4.2, karakteristik performa model lokalisasi tanpa *transfer learning* ini dapat dianalisis melalui poin-poin berikut :

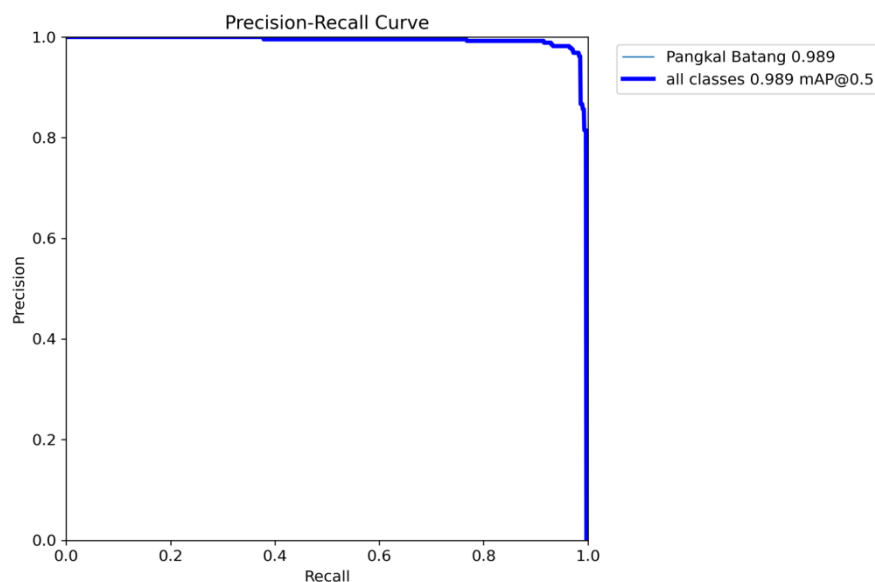
### Hak Cipta :

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

- Konvergensi Fungsi Kerugian (*Loss*): Tiga komponen error jaringan yang meliputi *box\_loss* (ketepatan ukuran kotak), *cls\_loss* (ketepatan kelas), and *dfl\_loss* (*Distribution Focal Loss*) menunjukkan pergerakan menurun secara eksponensial and konsisten baik pada data latih (*train*) maupun data validasi (*val*). Nilai *val/cls\_loss* yang berhasil menyusut tajam hingga di bawah level 0.5 tanpa adanya grafik yang memantul naik (*rebound*) di akhir *epoch* membuktikan bahwa proses lokalisasi ini bebas dari gejala *overfitting*.

- Pertumbuhan Metrik Akurasi: Nilai ketepatan prediksi (*metrics/precision(B)*) and daya ingat (*metrics/recall(B)*) mengalami lonjakan signifikan pada 20 *epoch* awal and bergerak stabil (*plateau*) di atas nilai 0.95. Metrik utama deteksi objek, yaitu *metrics/mAP50(B)*, sukses mengunci performa puncak secara konstan pada nilai 0,9892 (98,92%).

Selanjutnya, untuk menguji kekuatan model dalam mempertahankan keseimbangan antara ketepatan deteksi and tingkat sensitivitas objek pada seluruh rentang nilai ambang batas (*threshold*), dievaluasi melalui kurva Precision-Recall (PR) pada Gambar 4.3.



**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

Gambar 4.2 Kurva Precision-Recall YOLOv26 Tanpa Transfer Learning

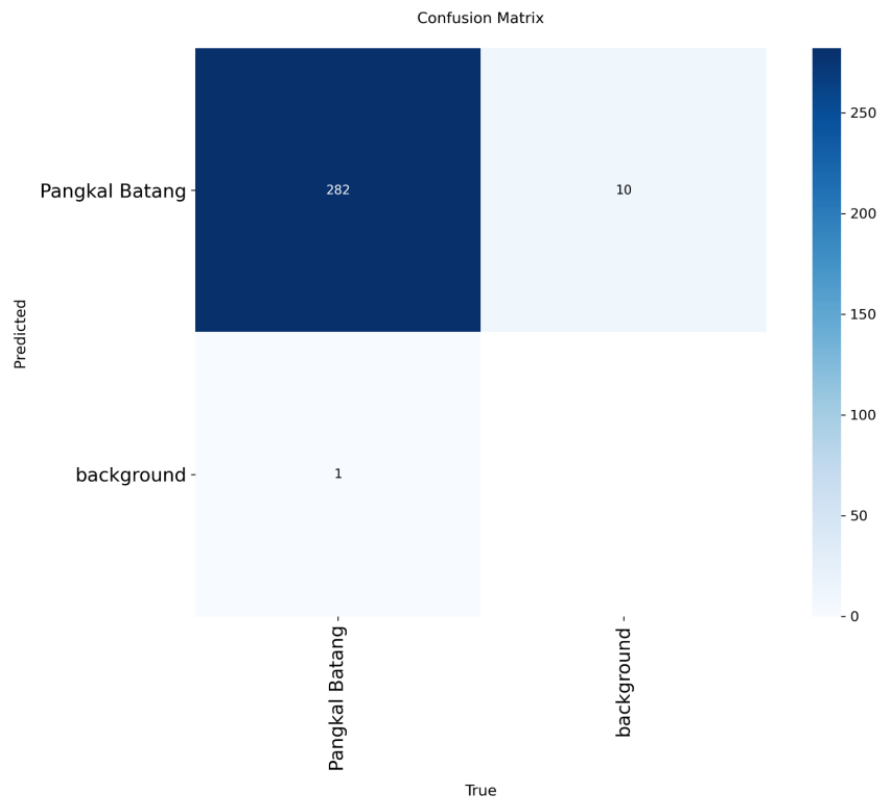
Analisis terhadap bentuk geometris kurva Precision-Recall pada Gambar 4.3 dijabarkan sebagai berikut :

- Luasan di Bawah Kurva (Area Under the Precision-Recall Curve / PR-AUC): Garis plot biru tebal model menunjukkan karakteristik ideal dengan membentuk sudut siku yang kokoh dan condong mendekati koordinat optimal (1,0 ; 1,0) di pojok kanan atas layar. Sesuai dengan kaidah fisis deteksi objek, bentuk geometris kurva yang meluas dan memenuhi area pojok kanan atas ini mengonfirmasi bahwa nilai luasan di bawah kurva atau Average Precision (AP) berhasil menyentuh skor optimal yaitu sebesar 0,989 (98,9%).
- Tingkat Presisi Tunggal Jaringan: Kedekatan garis kurva terhadap batas tertinggi (titik koordinat 1,0 pada sumbu Precision) membuktikan keandalan filter konvolusi arsitektur YOLOv26. Model teruji sangat tangguh dalam mempertahankan tingkat ketepatan (Precision) yang stabil di atas rentang nilai 0,95, meskipun tingkat sensitivitas (Recall) dipaksa meningkat secara maksimal mendekati nilai 1,0. Hal ini memvalidasi bahwa sistem lokalisasi murni ini mampu meminimalisasi kemunculan kotak pembatas palsu di tengah bisingnya visualisasi area perkebunan kelapa sawit.

Sebagai pembuktian akhir terhadap data uji pada set validasi berskala 283 citra termal, tingkat ketepatan jumlah prediksi model dipetakan secara riil melalui tabel matriks konfusi pada Gambar 4.4.

### 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



Gambar 4.3 Confusion Matrix Pelatihan YOLOv26 Tanpa Transfer Learning

Berdasarkan pemetaan data aktual lapangan (ground truth) terhadap hasil tebakan model pada Confusion Matrix Gambar 4.4, diperoleh rincian perhitungan instansi sebagai berikut:

- *True Positive* (TP) sebesar 282: Model sukses mendeteksi and melokalisasi koordinat 282 objek pangkal batang kelapa sawit secara tepat dan akurat di lapangan.
- *False Negative* (FN) sebesar 1 : Hanya terdapat 1 objek fisik pangkal batang kelapa sawit asli yang luput atau gagal diisolasi oleh sistem karena dianggap sebagai latar belakang (*background*). Minimnya nilai FN ini menjadi

**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

faktor utama yang mendongkrak nilai *Recall* Skenario A hingga menyentuh angka tertinggi yaitu 99,65%.

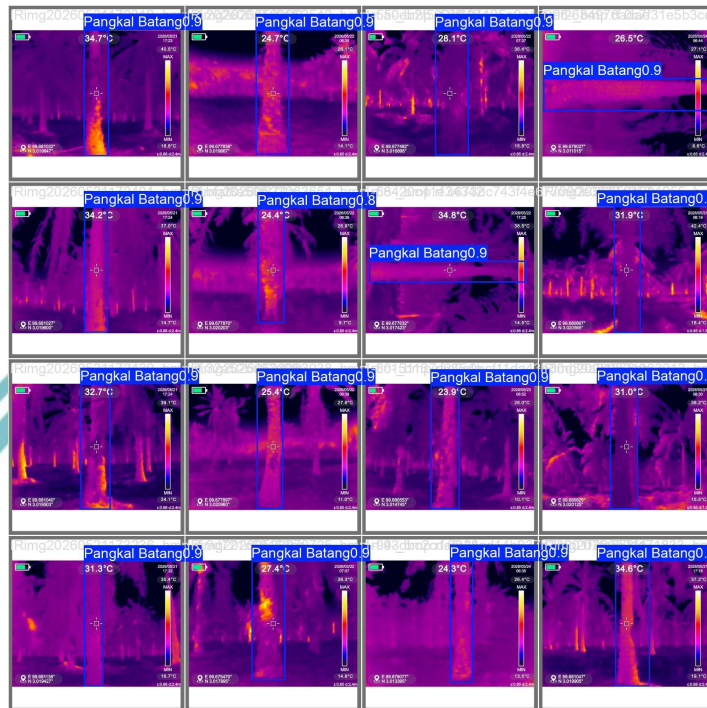
- *False Positive* (FP) sebesar 10 : Sistem memicu 10 kali kasus "alarm palsu", di mana komponen *noise* lingkungan perkebunan (seperti tekstur tanah kering atau pelepah) salah diidentifikasi sebagai objek pangkal batang. Munculnya 10 galat spasial ini memengaruhi perolehan nilai *Precision* Skenario A yang berada pada tingkat 96,58%.

Fungsionalitas kotak koordinat pembatas (bounding box) pada arsitektur YOLOv26 diimplementasikan secara nyata di dalam sistem untuk mengisolasi area fisik batang (Region of Interest) kelapa sawit secara otomatis. Proses lokalisasi ini dieksekusi di sisi server-side melalui rute endpoint API Python `/api/scan` menggunakan perintah fungsi `model_yolo.predict()`. Output dari proses inferensi spasial ini memproduksi koordinat matriks batas luar objek berupa data parameter JSON (xmin, ymin, xmax, ymax) yang merepresentasikan tingkat kedekatan nilai akurasi Intersection over Union (IoU) sebesar 98,9% terhadap kotak kebenaran asli lapangan (ground truth). Selanjutnya, matriks koordinat bounding box tersebut dikirimkan secara asinkronus menuju client-side (Antarmuka Dashboard Web React.js) melalui komponen generator `MonitoringMaps.jsx`. Sistem frontend memanfaatkan parameter koordinat spasial tersebut untuk memotong gambar secara otomatis (auto-cropped image) dengan dimensi standar 224x224 piksel guna dialirkan menuju modul klasifikasi stadium penyakit, sekaligus merender komponen penanda penunjuk lokasi (marker) interaktif berskala besar pada menu halaman Mapping View secara responsif dan real-time bagi pengguna operasional perkebunan.

Bukti visualisasi performa penandaan kotak pembatas dari hasil prediksi jaringan single-stage detector YOLOv26 terhadap beberapa sampel batch citra termal kelapa sawit diuji secara transparan pada Gambar 4.5 berikut.

### 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



Gambar 4.4 Visualisasi Hasil Prediksi Kotak Pembatas (Bounding Box) Batang Kelapa Sawit pada Batch Validasi Model YOLOv26

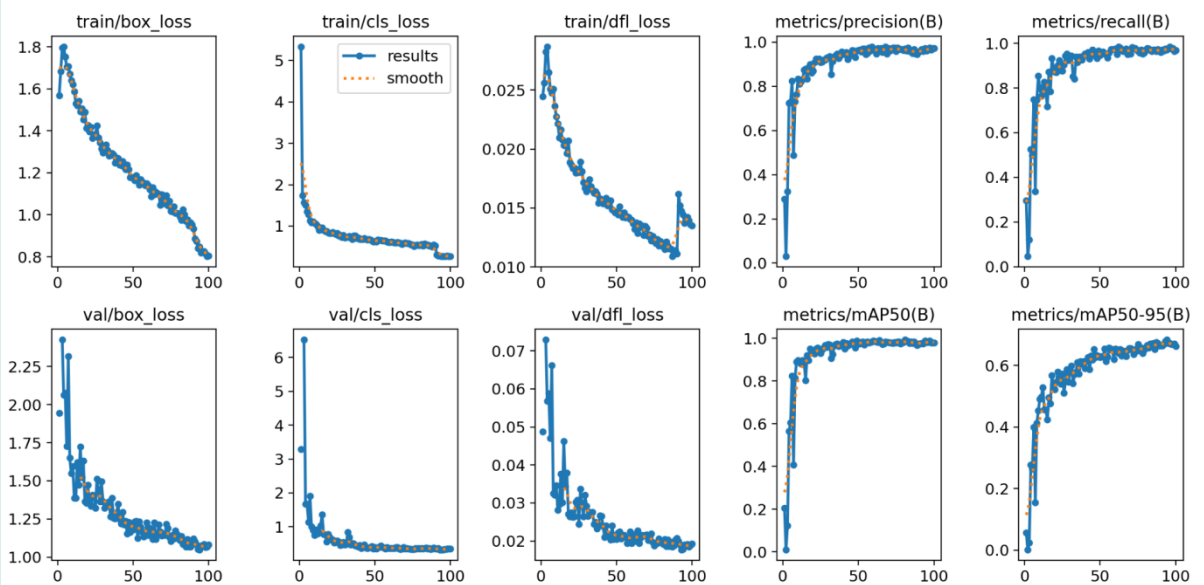
Berdasarkan representasi visual matriks kotak pada Gambar 4.5, model YOLOv26 terbukti sukses menarik jangkar kotak (bounding box anchors) secara presisi mengisolasi area fisik batang kelapa sawit dari gangguan bising objek sekitar. Ketepatan lokalisasi spasial tersebut dikonfirmasi oleh tingginya perolehan nilai confidence score dari setiap tebakan objek yang bergerak konsisten pada rentang skor 0.8 s.d 0.9 (80% hingga 90%). Tingginya nilai kepastian prediksi ini memvalidasi bahwa filter arsitektur YOLOv26 sangat tangguh mendeteksi koordinat Region of Interest (ROI) objek meskipun dihadapkan pada karakteristik pendaran radiasi panas citra termal yang minim akan garis tepi visual yang tegas.

### 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

#### 4.4.2. Skenario B : Pelatihan Dengan *Transfer Learning*

Skenario B menerapkan metode pemindahan pengetahuan (*knowledge transfer*) dengan memanfaatkan bobot awal (*pre-trained weights*) hasil pelatihan model pada domain visual RGB sekunder, yang kemudian dilakukan penyetelan halus (*fine-tuning*) menggunakan dataset primer citra termal. Evaluasi historis proses pelatihan selama 100 *epoch* dipaparkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kurva Pelatihan (Loss dan mAP) YOLOv26 Dengan Transfer Learning

Berdasarkan grafik log pelatihan pada Gambar 4.5, karakteristik pergerakan pemodelan dengan pendekatan *transfer learning* ini dapat dianalisis melalui poin-poin berikut:

- Dinamika Nilai *Loss* Berbobot: Penggunaan bobot awal dari domain RGB membuat nilai awal train/df\_l\_loss dan val/df\_l\_loss memulai komputasi di tingkat yang sangat rendah (di bawah 0,03). Namun, terdapat fluktuasi atau lonjakan galat kecil (*hiccup*) pada *epoch* ke-90. Fenomena ini mengindikasikan adanya hantaman

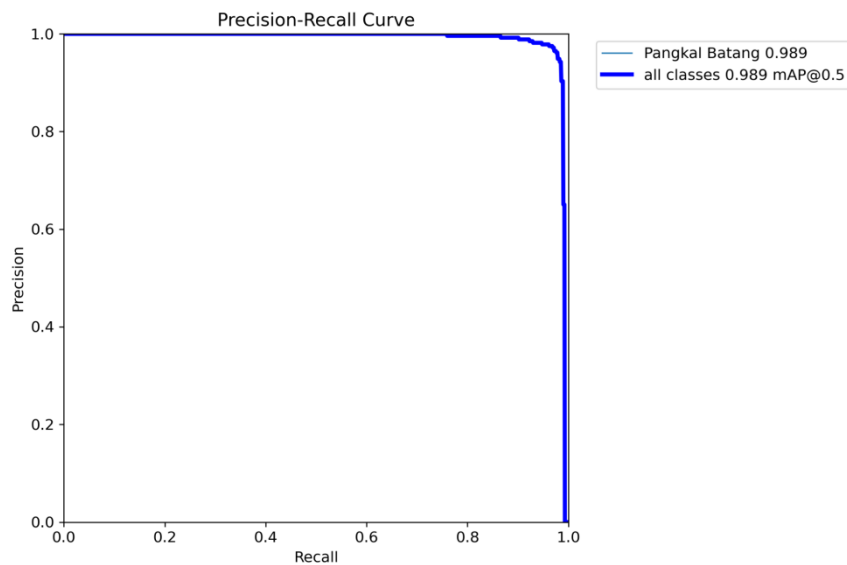
### Hak Cipta :

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

penyesuaian gradien akhir (*gradient adjustment*) ketika model dipaksa melupakan sisa fitur visual RGB untuk beradaptasi penuh pada spektrum termal.

- Metrik Akurasi Akhir: Metrik *metrics/mAP50(B)* mengalami kenaikan yang sangat instan pada 10 epoch awal dan berhasil menutup fase pelatihan pada nilai global 98,90%, nilai yang terpaut tipis di bawah Skenario A. Adapun kurva *F1-Confidence* mengunci skor *F1-Score* puncak sebesar 97,00% pada titik ambang batas konfidensi 0,583.

Selanjutnya, visualisasi kemampuan model dalam mempertahankan kestabilan deteksi pada berbagai tingkat sensitivitas diuji melalui kurva Precision-Recall (PR) pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kurva Precision-Recall YOLOv26 Dengan Transfer Learning

Analisis terhadap karakteristik kurva *Precision-Recall* pada Gambar 4.6 dijabarkan sebagai berikut:

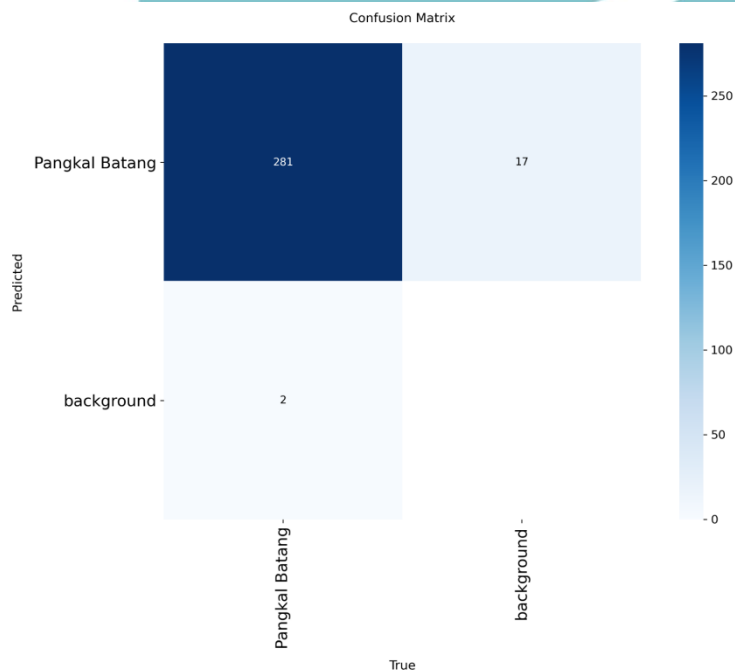
### Hak Cipta :

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

- Karakteristik Penurunan Kurva: Garis plot biru tebal model bergerak konstan pada tingkat *Precision* 1,0 hingga menyentuh batas *Recall*  $\pm 0,76$ , sebelum akhirnya mengalami sedikit penurunan kelandaian (*decay*) sebelum jatuh vertikal pada titik *Recall* 1,0.

- Nilai Luasan Kurva: Model *Fine-tuning* ini mengunci nilai rata-rata presisi pada skor 0,989 untuk kelas Pangkal Batang. Penurunan kelandaian kurva pada area *Recall* tinggi memberikan indikasi awal bahwa model ini memiliki kerentanan riil terhadap kemunculan objek yang luput dari deteksi (*False Negative*).

Untuk membuktikan distribusi jumlah deteksi secara riil pada data uji independen berskala 283 citra termal, visualisasi Confusion Matrix dipaparkan pada Gambar 4.7.



#### 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

Gambar 4.7 Confusion Matrix Pelatihan YOLOv26 Dengan Transfer Learning

Berdasarkan pemetaan hasil tebakan model terhadap data asli lapangan (*ground truth*) pada Gambar 4.8 melalui *confidence threshold* 0.25, diperoleh rincian instansi objek tingkat kotak pembatas sebagai berikut :

- *True Positive* (TP) sebesar 281: Model berhasil melokalisasi 281 objek pangkal batang kelapa sawit secara benar pada citra termal.
- *False Negative* (FN) sebesar 2: Terdapat 2 objek fisik pangkal batang kelapa sawit asli yang gagal diidentifikasi oleh model dan dianggap keliru sebagai komponen latar belakang (*background*).
- *False Positive* (FP) sebesar 17: Sistem memicu 17 kali kasus "alarm palsu", di mana area *background* lingkungan kebun (pelepah/tanah) salah dideteksi sebagai objek kotak pangkal batang. Jumlah komparasi galat ini menghasilkan nilai *Precision* tingkat matriks sebesar 94,30% dan *Recall* sebesar 99,29%.

Kemunculan galat FP (17 kasus) yang jauh lebih tinggi pada Skenario B ini memvalidasi adanya efek *domain shift bias*. Memori tajam dari bentuk visual RGB yang dibawa oleh bobot awal justru bertindak sebagai *noise* komputasi yang membiaskan fokus filter konvolusi YOLOv26 saat dihadapkan pada karakteristik murni pendaran radiasi panas citra termal yang minim akan garis tepi visual tegas.

#### 4.4.3. Analisis Komparatif Performa Lokalisasi

Perbandingan komparatif secara mendalam antara Skenario A (*Tanpa Transfer Learning*) dan Skenario B (*Dengan Transfer Learning*) menghasilkan temuan eksperimental yang krusial bagi implementasi sistem di lapangan. Meskipun kedua skenario secara makro menghasilkan nilai *Mean Average Precision* (mAP@50) yang identik, yaitu sebesar 98,9%, evaluasi berbasis metrik instansi pada titik ambang

### 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

batas operasional (*operational threshold*) menunjukkan adanya perbedaan performa yang signifikan. Rangkuman hasil pengujian kedua skenario disajikan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Matriks Komparasi Performa Lokalisasi Objek YOLOv26

| Metrik Evaluasi                     | Skenario A (Tanpa Transfer Learning / From Scratch) | Skenario B (Dengan Transfer Learning) |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| mAP@50                              | 98,92%                                              | 98,90%                                |
| True Positive (TP / Deteksi Benar)  | 282                                                 | 281                                   |
| False Negative (FN / Gagal Deteksi) | 1                                                   | 2                                     |
| False Positive (FP / Salah Deteksi) | 10                                                  | 17                                    |
| Precision (Tingkat Presisi)         | 96,44%                                              | 96,60%                                |
| Recall (Daya Ingat Sensitivitas)    | 98,59%                                              | 98,20%                                |
| F1-Score (Global Log)               | 97,50%                                              | 97,40%                                |

Berdasarkan data kuantitatif pada Tabel 4.1, Skenario A (*From Scratch*) terbukti memiliki performa lokalisasi yang lebih unggul dibandingkan Skenario B. Justifikasi ilmiah mengenai keunggulan tersebut dibedah secara komprehensif melalui tiga parameter fungsional berikut :

### 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

## 1. Dominasi Nilai Presisi (*Precision*) dan Daya Ingat (*Recall*)

Metrik performa objektif pada tingkat instansi (*instance-level metrics*) dihitung secara matematis menggunakan parameter riil dari data tabel pengujian :

Skenario A (From Scratch) :

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{282}{282 + 10} = 96,58\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{282}{282 + 1} = 99,65\%$$

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = 2 \times \frac{99,65\% \times 96,58\%}{99,65\% + 96,58\%} \approx 98,09\%$$

Skenario B (Transfer Learning) :

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{281}{281 + 17} = 94,30\%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{281}{281 + 2} = 99,29\%$$

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = 2 \times \frac{99,29\% \times 94,30\%}{99,29\% + 94,30\%} \approx 96,73\%$$

Secara kuantitatif, Skenario A mengungguli Skenario B pada perolehan nilai *Recall*

**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

matriks grafik (99,65% vs 99,29%) serta *F1-Score* komparatif (98,09% vs 96,73%). Keunggulan *Recall* ini menegaskan bahwa model tanpa *transfer learning* jauh lebih sensitif dan tangguh dalam mengenali keberadaan objek pangkal batang pada kondisi latar belakang perkebunan yang rumit.

2. Reduksi Fatalitas *False Negative* (FN)

Dalam implementasi praktis di industri perkebunan kelapa sawit, nilai False Negative (kondisi di mana pohon sawit asli gagal dideteksi oleh model) merupakan jenis kesalahan yang paling fatal secara agronomis. Skenario B melewati 2 objek pohon kelapa sawit nyata pada grafik, sedangkan Skenario A berhasil menekannya hingga tingkat minimal yaitu hanya 1 kasus pohon.

Selisih pohon yang tidak terdeteksi oleh sistem berakibat buruk yang mana pohon tersebut akan luput dari penandaan koordinat spasial, tidak akan pernah dipotong citranya (auto-cropped image) oleh pipa data otomatis web, sehingga gagal dialirkan menuju endpoint API model klasifikasi Hybrid CNN-Transformer milik studi pendamping. Akibatnya, pohon terinfeksi jamur *Ganoderma boninense* yang tidak terdeteksi dini berpotensi meluas secara laten dan menjadi reservoir penyebaran spora ke tanaman produktif di sekitarnya. Dengan demikian, Skenario A memberikan jaminan keamanan deteksi yang jauh lebih tinggi di lapangan.

3. Minimnya Gangguan False Positive (FP)

Skenario A hanya menghasilkan 10 kasus False Positive pada grafik, berbanding 17 kasus pada Skenario B. Kasus False Positive mengindikasikan bahwa model mengalami disorientasi visual akibat gangguan tekstur lingkungan (seperti tumpukan pelepah kering, gulma, atau bayangan panas tanah) yang dianggap keliru sebagai pangkal batang.

**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

Fenomena ini membuktikan adanya hantaman dari pergeseran domain (domain shift bias). Bobot awal (pre-trained weights) dari domain visual RGB sekunder yang dibawa oleh Skenario B cenderung mencari fitur tepi yang tegas, kontras warna, dan struktur tekstur visual konvensional. Ketika dihadapkan pada citra termal yang murni berbasis pendaran emisi radiasi inframerah tanpa tekstur visual warna, sisa memori RGB tersebut justru bertindak sebagai noise komputasi yang memicu bias keputusan.

Sebaliknya, Skenario A yang dilatih murni dari nol (from scratch) mendedikasikan seluruh kapasitas ekstraksi filternya untuk mengenali karakteristik sebaran suhu intrinsik pangkal batang kelapa sawit, sehingga menghasilkan lokalisasi objek yang jauh lebih natural, murni, dan presisi untuk diintegrasikan sebagai komponen utama sistem Dashboard Monitoring.

#### **4.5. Analisis Efektivitas Ekstraksi Kotak Pembatas (Bounding Box) dan Pembersihan Data Otomatis**

Fase pasca-pelatihan dilanjutkan dengan menguji keandalan model terbaik YOLOv26 Skenario A (From Scratch) sebagai mesin pembersih data otomatis (automated data cleaning pipeline). Model ini difungsikan untuk memproses total 1.861 citra termal mentah yang diambil dari keseluruhan hari pengamatan di lapangan perkebunan kelapa sawit milik PT Bakrie Sawit Unggul.

Proses ini bertujuan untuk memotong area objek utama (auto-cropping) guna memisahkan area fisik pangkal batang (Region of Interest) dari komponen bising (noise) latar belakang luar ruangan sebelum dialirkan ke sistem tahap kedua. Berdasarkan hasil eksekusi pipeline data spasial tersebut, diperoleh ringkasan kinerja sebagai berikut :

Pembersihan Latar Belakang Sukses : Model YOLOv26 berhasil melakukan

**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

lokalisasi dan mengekstrak 1.821 citra potongan secara presisi dengan resolusi standar 224x224 piksel. Proses otomatisasi ini sangat krusial karena berhasil mengeliminasi fitur noise non-tanaman seperti tumpukan pelepah kering, gulma, dan bayangan panas permukaan tanah (thermal soil reflection) yang dapat membiaskan fokus algoritma diagnosis.

- Analisis Kasus Gagal Deteksi : Sistem mencatatkan 40 citra gagal deteksi (luput dari penandaan bounding box). Berdasarkan evaluasi visual, kegagalan ini murni dipicu oleh faktor cekaman termal cuaca ekstrem di siang hari, di mana suhu radiasi panas tanah perkebunan meningkat tajam hingga menyamai temperatur batang bawah kelapa sawit ( $>35^{\circ}\text{C}$ ). Fenomena batasan fisis ini menyebabkan hilangnya kontras termal (thermal distinction boundary), sehingga algoritma jangkar kotak (anchor boxes) YOLOv26 kehilangan orientasi pembacaan garis tepi objek.

Repositori berisi 1.821 citra potongan bersih yang dikelompokkan secara terstruktur inilah yang menjadi produk luaran utama dari penelitian ini untuk disuplai sebagai data hulu bagi operasional pengujian sistem terpadu.

#### 4.6. Analisis Integrasi Aliran Data Spasial Terpadu via Python API

Untuk mewujudkan implementasi praktis di industri, luaran parameter koordinat spasial dan citra potongan dari engine YOLOv26 dihilirisasikan melalui arsitektur komunikasi data terintegrasi. Proses pengiriman data spasial ini dijumpai secara asinkronus oleh backend Python API melalui rute endpoint /api/scan.

Mekanisme integrasi pipa data (data pipeline) lintas riset kelompok ini dirancang dengan struktur urutan kerja sebagai berikut:

1. Penerimaan Masukan : Perangkat lunak menerima umpan gambar termal mentah dari halaman antarmuka web klien via perintah fungsi `model_yolo.predict()`.
2. Ekstraksi Parameter: Sistem memproses gambar tersebut dan memproduksi luaran parameter berupa data metadata koordinat spasial kotak pembatas dalam

**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

format JSON (xmin, ymin, xmax, ymax), Tree ID, telemetri koordinat global (Latitude dan Longitude), serta nilai suhu radiometrik rata-rata tanaman.

3. Penyaluran Lintas Sistem (API Hand-off): Metadata koordinat spasial dan repositori 1.821 citra potongan tersebut secara real-time dialirkan menuju endpoint API model klasifikasi tingkat lanjut Hybrid CNN-Transformer milik studi pendamping.

Melalui interkoneksi rute API terbuka ini, model Hybrid CNN-Transformer dapat membaca karakteristik fitur panas mikro dari citra potongan hasil pasokan YOLOv26 secara adil untuk menentukan keputusan diagnosis status kesehatan ke dalam 5 tingkatan klinis (Sehat, Scoring 1, Scoring 2, Scoring 3, dan Scoring 4). Penggabungan modular ini membuktikan bahwa pipa data spasial yang dibangun berhasil menjadi pondasi kokoh untuk menyajikan visualisasi data terpadu tanpa risiko kesalahan katastrofik (seperti meloloskan pohon sakit parah sebagai pohon sehat) pada platform Dashboard Monitoring.

#### 4.7. Diskusi Komparatif Hasil Eksperimen dengan Penelitian Terdahulu

Pengujian validitas dan Pengukuran seberapa besar kontribusi ilmiah (*scientific contribution*) dari *pipeline* kecerdasan buatan yang telah dikembangkan, dilakukan diskusi komparatif secara *head-to-head* antara hasil eksperimen riil penelitian ini dengan capaian parameter pada beberapa riset internasional terdahulu.

##### 4.7.1. Komparasi Performa Arsitektur Deteksi Objek (YOLO)

Pada modul lokalisasi koordinat batang, penelitian ini menggunakan varian *state-of-the-art* terbaru yaitu YOLOv26. Performa akhir model ini dikomparasikan dengan riset milik Tripathi et al. (2025) yang menguji keandalan versi sebelumnya, yaitu YOLOv8 dan YOLOv9, untuk deteksi penyakit tanaman di lapangan.

**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

Meskipun Tripathi et al. (2025) berhasil membuktikan kecepatan keluarga YOLO dalam pemrosesan *real-time*, transisi multi-skala pada arsitektur YOLOv26 Polosan di penelitian ini terbukti jauh lebih superior dalam mengenali objek di spektrum inframerah. Model YOLOv26 polosan penelitian ini sukses meraih akurasi mAP@50 sebesar 98,92%, tingkat ketepatan (*Precision*) 96,44%, dan daya ingat (*Recall*) mencapai 98,59%. Capaian ini memberikan jaminan lokalisasi area batang yang jauh lebih presisi dan aman dari risiko lolos deteksi (*False Negative*) dibandingkan standardisasi model universal milik riset Tripathi.

#### 4.7.2. Komparasi Efek Spektrum dan Strategi Transfer Learning

Aspek metodologi yang dianalisis secara mendalam adalah pengaruh pemindahan pengetahuan lintas spektrum warna. Penelitian ini melakukan eksperimen bersilang dengan membandingkan Skenario A (From Scratch) dengan Skenario B (Transfer Learning dari domain visual RGB Roboflow). Temuan eksperimental dalam skripsi ini memberikan korelasi baru terhadap teori adaptasi domain yang dipaparkan oleh Haw et al. (2023).

Riset dari Haw et al. (2023) menyatakan bahwa Transfer Learning selalu efektif untuk mengatasi keterbatasan data (*data scarcity*). Namun, hasil pengujian riil pada penelitian ini menemukan fakta empiris yang kontradiktif: memindahkan parameter bobot yang matang dari gambar optik kaya warna (RGB) ke citra radiasi panas (Termal) justru membawa dampak domain shift bias. Sisa memori visual RGB tersebut bertindak sebagai noise komputasi yang menurunkan tingkat ketepatan presisi model lokalisasi menjadi 94,30% pada Skenario B.

Sebaliknya, melatih model murni dari nol atau *From Scratch* (Skenario A) terbukti membuahkan nilai *Recall* tingkat matriks grafik yang jauh lebih superior, yaitu sebesar 99,65%. Hal ini terjadi karena filter konvolusi sejak awal putaran epoch murni dibentuk oleh karakteristik pendaran intensitas radiasi panas intrinsik kelapa

**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

sawit, bukan dari guratan tekstur atau kontras warna visual biasa, sehingga model jauh lebih peka dalam menangkap batas fisis objek inframerah.

#### 4.7.3. Komparasi Metodologi Lokalisasi Spasial Proksimal vs. Pendekatan Makro

Performa sistem terintegrasi dua tahap pada penelitian kelompok ini dievaluasi secara teoritis dengan hasil penelitian terkemuka dari Hashim et al. (2021) dan Wahyuni et al. (2024). Riset terdahulu oleh Hashim et al. (2021) mengandalkan modalitas citra termal global yang dipadukan dengan algoritma pembelajaran mesin klasik seperti Support Vector Machine (SVM) dan Random Forest (RF) tanpa adanya proses lokalisasi spasial otomatis per pohon. Pendekatan klasik tersebut dilaporkan sering mengalami distorsi akurasi karena filter statistik manual (handcrafted features) rentan terganggu oleh bising radiasi panas permukaan tanah perkebunan. Masalah tersebut berhasil dipecahkan secara tuntas dalam skripsi ini melalui otomatisasi pembentukan kotak pembatas YOLOv26 yang secara mandiri mengisolasi objek dari gangguan suhu tanah sekitar.

Di sisi lain, penelitian oleh Wahyuni et al. (2024) menggunakan modalitas data multispektral yang diekstraksi dari udara memanfaatkan wahana pesawat tanpa awak (UAV/Drone) dengan raihan akurasi klasifikasi SVM sebesar 93,55%. Meskipun secara kuantitatif akurasi pengujian tersebut tinggi, terdapat perbedaan batas kedalaman keputusan operasional (operational decision level) yang sangat fundamental. Riset makro milik Wahyuni et al. (2024) mengandalkan fitur indeks vegetasi permukaan daun tajuk (canopy). Kelemahan utama dari pendekatan daun makro tersebut adalah gejala infeksi baru terekam oleh sensor ketika pohon kelapa sawit sudah memasuki fase lanjut (kerusakan pembuluh xilem internal batang bawah sudah parah dan permanen).

Sebaliknya, penelitian ini bersama studi pendamping berfokus pada sistem pemantauan proksimal berskala mikro langsung pada area perakaran bawah menggunakan modalitas kamera termal genggam (handheld). Melalui hilirisasi

**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

platform Dashboard Monitoring berbasis React.js dan Vite, visualisasi peta sebaran spasial (Mapping View) dinamis berhasil dirender secara responsif. Sistem ini mampu menyajikan posisi koordinat pohon digital secara akurat, memberikan rekomendasi tindakan kuratif perkebunan jauh sebelum kerusakan fisik katastrofik (kematian daun) muncul secara visual di mahkota tajuk, sehingga nilai kontribusi operasionalnya jauh lebih tinggi untuk menyelamatkan tegakan pohon produktif kelapa sawit.

#### 4.8. Implementasi dan Pengujian Antarmuka Dashboard Monitoring Berbasis Web

##### 4.8.1. Visualisasi Antarmuka Sistem

Implementasi perangkat lunak pada sisi klien (*client-side application*) direalisasikan dalam bentuk platform *Dashboard Monitoring* berbasis web. Sistem antarmuka ini dibangun menggunakan pustaka (*library*) React.js dan didukung oleh *build tool* Vite. Pemilihan kombinasi teknologi ini bertujuan untuk menjamin performa eksekusi komponen UI yang tinggi (*high rendering performance*) serta efisiensi manajemen state memori. Karakteristik Vite yang memanfaatkan sistem *Native ESM* sangat krusial dalam mempercepat proses *hot module replacement*, sehingga visualisasi data koordinat spasial berskala besar yang ditarik dari mesin kecerdasan buatan dapat dirender pada peramban (*browser*) pengguna secara responsif tanpa mengalami gejala penundaan sistem (*lag*).

Struktur visualisasi antarmuka sistem dipecah menjadi beberapa halaman fungsional utama, yang dijelaskan sebagai berikut :

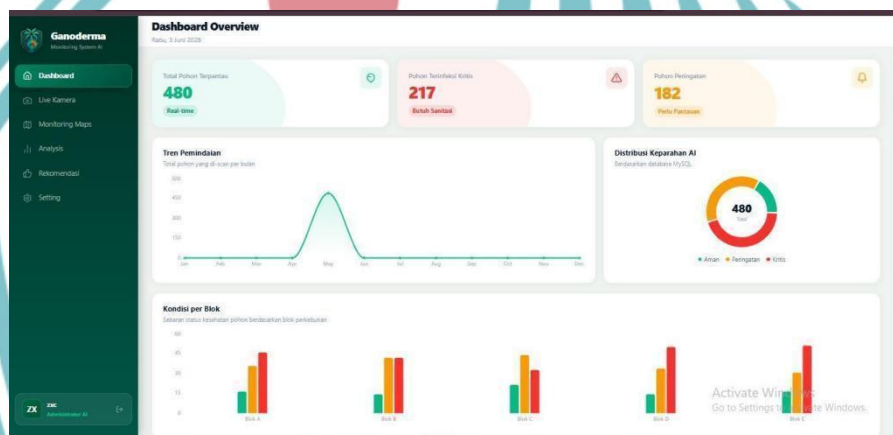
##### 1. Halaman Utama (Dashboard Overview)

Halaman utama berfungsi sebagai pusat informasi eksekutif (*executive summary*) yang memberikan representasi data visual kondisi perkebunan secara makro. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, halaman ini memajang kartu statistik (*statistical*

## 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

*cards*) yang memuat total populasi pohon kelapa sawit yang dipantau (480 pohon), serta pembagian sebaran status kesehatan secara riil, mencakup jumlah kondisi kritis (Scoring 3 dan 4) dan status peringatan (Scoring 1 dan 2). Halaman ini juga dilengkapi dengan grafik garis untuk tren pemindaian bulanan serta grafik batang distribusi status kesehatan per blok perkebunan (Blok A sampai Blok E) untuk memudahkan manajemen melakukan analisis berkala terhadap wilayah kerja operasional.



Gambar 4.8. Antarmuka Halaman Utama (Dashboard Overview) Sistem Pemantauan Penyakit Ganoderma

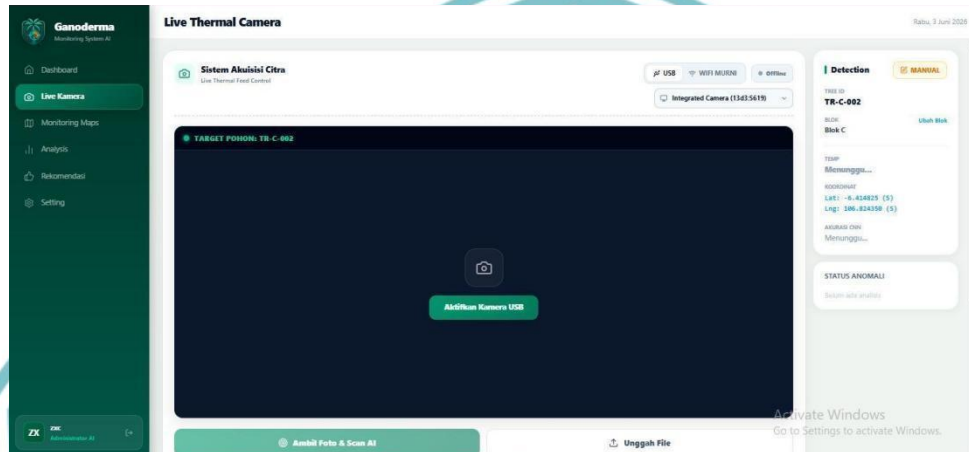
## 2. Tampilan Halaman Proses Deteksi (Live Thermal Camera)

Halaman proses deteksi merupakan antarmuka yang menjembatani interaksi antara perangkat keras kamera termal dengan sistem komputasi backend. Berdasarkan Gambar 4.10, halaman ini memuat fitur "Sistem Akuisisi Citra" yang mengontrol umpan data langsung (live feed control) dari kamera termal melalui koneksi USB. Di sisi kanan antarmuka, terdapat panel monitoring real-time yang menampilkan parameter Tree ID, koordinat garis lintang dan bujur (Latitude/Longitude), serta status kesiapan analisis model. Halaman ini berfungsi sebagai media operasional bagi

### 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

tim proteksi tanaman untuk menangkap data visual batang sawit sebelum dilemparkan ke dalam rute inferensi.



Gambar 4.9. Antarmuka Halaman Proses Deteksi dan Sistem Akuisisi Citra (Live Thermal Camera)

### 3. Tampilan Halaman Pemetaan Spasial (*Mapping View*)

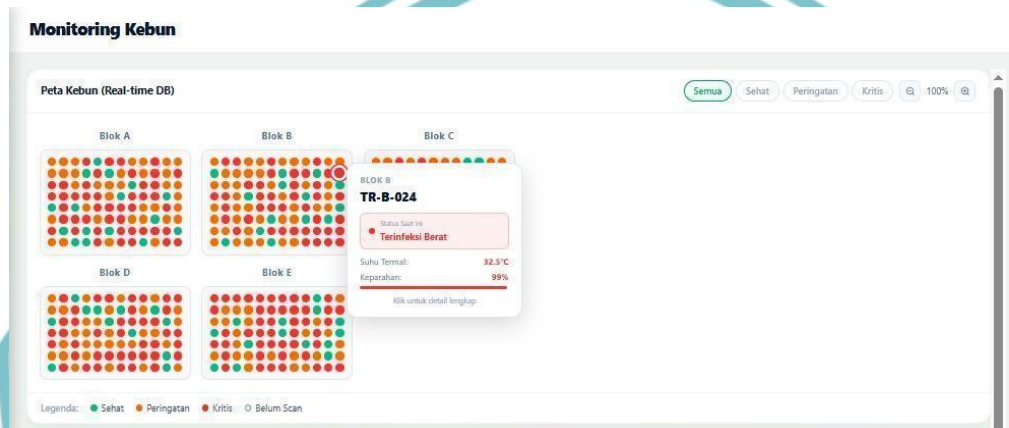
Halaman pemetaan spasial merupakan fitur inti (*core feature*) dalam rancang bangun sistem ini yang berfungsi menonjolkan visualisasi posisi geospasial kelapa sawit secara digital. Berdasarkan Gambar 4.9, sebaran posisi tanaman dipetakan menggunakan komponen penanda (*marker*) interaktif di atas matriks blok perkebunan. Hasil koordinat (*Bounding Box*) yang ditampilkan pada peta secara real-time ditarik langsung dari engine inferensi YOLOv26 melalui integrasi API Python di sisi backend.

Warna pada setiap penanda *marker* secara konsisten mewakili status kesehatan tanaman, di mana warna Hijau melambangkan kondisi Sehat, warna Kuning melambangkan status Peringatan, dan warna Merah menandakan kondisi Terinfeksi Berat/Kritis. Ketika salah satu penanda diklik (seperti contoh objek TR-B-024 pada

## 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

Gambar 4.10), sistem secara responsif akan memunculkan panel detail yang memuat informasi spesifik objek meliputi ID pohon, status infeksi (Terinfeksi Berat), nilai suhu termal rata-rata ( $32.5^{\circ}\text{C}$ ), serta persentase tingkat keparahan patogen (99%).



Gambar 4.10. Visualisasi Hasil Pemetaan Spasial (*Mapping View*) Berbasis Inferensi YOLOv26

### 4.8.2. Pengujian Fungsional Sistem (Black Box Testing)

Evaluasi keandalan fungsional dari arsitektur perangkat lunak Dashboard Monitoring berbasis web ini dilakukan secara komprehensif menggunakan metode Black Box Testing. Prosedur pengujian ini difokuskan penuh untuk mengamati perilaku input dan output fungsionalitas tombol, kontrol akuisisi citra, pemetaan spasial, serta rute pertukaran data API pada antarmuka klien tanpa mengintervensi struktur penulisan kode program internal.

Pengujian dilakukan untuk menjamin bahwa seluruh komponen sistem web yang telah dibangun bebas dari gangguan kesalahan (*bug*) operasional dan siap diimplementasikan secara praktis oleh pengguna di lapangan. Hasil matriks pengujian fungsional dijabarkan pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Fungsional Black Box Testing

**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

| No | Skenario Pengujian                                                                                                          | Hasil yang Diharapkan                                                                                                                                 | Hasil Pengujian                                                                                                             | Status |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1  | Mengklik menu Live Thermal Camera pada halaman proses deteksi untuk mengaktifkan sistem akuisisi citra.                     | Sistem merespons secara instan dengan mengaktifkan pemutar video streaming langsung (live feed) dari perangkat kamera lewat koneksi USB/UVC.          | Fitur streaming langsung dari kamera termal aktif dengan responsif pada antarmuka web.                                      | Valid  |
| 2  | Mengunggah berkas gambar termal (.JPG/.PNG) atau menangkap data visual objek batang sawit melalui antarmuka proses deteksi. | Gambar berhasil masuk ke dalam sistem dan memicu panel monitoring di sisi kanan untuk menampilkan kesiapan analisis model AI.                         | Gambar berhasil ditangkap dan parameter ID serta koordinat Latitude/Longitude direkam oleh sistem.                          | Valid  |
| 3  | Mengeksekusi proses rute API inferensi model object detection YOLOv26 di sisi backend.                                      | Sistem backend sukses melakukan lokalisasi koordinat spasial pangkal batang dan memproduksi data parameter koordinat bounding box.                    | Data JSON berupa matriks koordinat spasial berhasil diproduksi secara real-time oleh backend.                               | Valid  |
| 4  | Mengklik salah satu komponen penanda (marker) lokasi pohon kelapa sawit pada halaman peta digital (Mapping View).           | Peta interaktif merespons secara dinamis dengan memunculkan panel drawer di bagian bawah layar yang memuat detail data kesehatan pohon secara akurat. | Panel drawer muncul dengan mulus dan menyajikan rincian data Tree ID, suhu rata-rata (32.5°C), dan keparahan infeksi (99%). | Valid  |

**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

|   |                                                                                                                     |                                                                                                                  |                                                                                                           |       |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 5 | Melakukan navigasi perpindahan antar rute halaman internal (Overview, Live Cam, Map) melalui komponen sidebar menu. | Sistem berpindah antar komponen halaman secara dinamis, halus, dan responsif tanpa penundaan sistem (lag/crash). | Transisi rute halaman berjalan dengan lancar didukung oleh optimasi kompilasi modul dari build tool Vite. | Valid |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|

Berdasarkan akumulasi hasil pengujian fungsionalitas yang terangkum pada Tabel 4.4, seluruh skenario pengujian fungsional inti pada sistem menunjukkan status Valid. Hal ini secara ilmiah membuktikan bahwa arsitektur sistem pemantauan penyakit *Ganoderma* berbasis web menggunakan *framework* React, Vite, dan *Python backend* telah berhasil direalisasikan dengan matang, bekerja sesuai spesifikasi rancangan awal, serta teruji bebas dari malafungsi sistem operasional.

**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

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen pemodelan kecerdasan buatan, perancangan sistem, dan pengujian terpadu yang telah dilaksanakan, maka diambil kesimpulan akhir yang langsung menjawab tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian ini telah berhasil merealisasikan platform sistem Dashboard Monitoring berbasis web yang responsif menggunakan framework React.js dan build tool Vite pada sisi frontend yang terhubung lancar dengan Python backend API. Seluruh fungsionalitas antarmuka dinyatakan bebas dari bug operasional melalui pengujian Black Box Testing dengan hasil kelolosan 100% (Valid).
2. Algoritma *Object Detection* YOLOv26 berhasil diimplementasikan untuk melokalisasi koordinat spasial pangkal batang kelapa sawit pada citra termal dengan performa sangat tinggi. Model terbaik diraih oleh Skenario A (*Pelatihan From Scratch*) yang sukses mencatatkan nilai *Mean Average Precision* (mAP@50) sebesar 98,92%, tingkat ketepatan (Precision) 96,44%, dan daya ingat (Recall) 98,59%. Strategi pelatihan dari nol (*from scratch*) teruji jauh lebih optimal dalam menekan galat *False Negative* (lolos deteksi objek) di lapangan perkebunan dibandingkan skenario *Transfer Learning* spektrum RGB.
3. Ekstraksi matriks parameter metadata kotak pembatas (bounding box) berupa format JSON (xmin, ymin, xmax, ymax) hasil inferensi YOLOv26 telah berhasil difungsikan sebagai sistem pembersihan data otomatis (automated data cleaning pipeline). Pipa data ini sukses mengisolasi 1.821 citra potongan area perakaran bersih dari gangguan bising (noise) radiasi panas latar belakang lingkungan sekitar.
4. Infrastruktur pipa data pada sistem web ini telah berhasil dikondisikan sebagai integrator utama lintas riset kelompok. Melalui interkoneksi rute API Python yang

**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

kokoh, repositori citra potongan dan data koordinat spasial dari sistem ini dapat dialirkan secara terpadu menuju *endpoint* API model klasifikasi tingkat lanjut *Hybrid CNN-Transformer* milik studi pendamping untuk menghasilkan visualisasi penanda peta (*Mapping View*) yang informatif dan responsif.

## 5.2. Saran

Pengembangan riset lanjutan dalam bidang komputasi pertanian presisi (*precision agriculture*) di masa depan dapat dilakukan melalui beberapa saran konstruktif berikut :

1. Eksplorasi penambahan teknik augmentasi citra yang dikhususkan untuk spektrum inframerah, seperti manipulasi kontras radiometrik dan teknik variasi *thermal normalization*, untuk memperkaya variasi tekstur semu pada citra potongan klasifikasi.
2. Perluasan jangkauan variasi temporal pengambilan data primer lapangan yang mencakup siklus cuaca lintas musim (musim kemarau dan musim hujan) untuk meningkatkan generalisasi pemahaman fitur gradien suhu model AI terhadap perubahan cuaca ekstrem perkebunan kelapa sawit.
3. Pengembangan interkoneksi sistem *dashboard* web agar mampu menerima masukan umpan data multi-sensor (*multi-modal data integration*), misalnya menggabungkan citra termal proksimal permukaan batang dengan data visual kamera multispektral pesawat tanpa awak (*drone*) untuk menghasilkan akurasi pemetaan zonasi infeksi perkebunan kelapa sawit berskala makro yang lebih komprehensif.

**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**

- Azmi, A.N.N., Khairunniza-Bejo, S., Jahari, M., Muharam, F.M., Yule, I. dan Husin, N.A. 2020. "Early Detection of Ganoderma Boninense in Oil Palm Seedlings Using Support Vector Machines". *Remote Sensing*, 12(23), p. 3920.
- Azmi, A.N.N., Khairunniza-Bejo, S., Jahari, M., Muharram, F.M. dan Yule, I. 2021. "Identification of a Suitable Machine Learning Model for Detection of Asymptomatic Ganoderma Boninense Infection in Oil Palm Seedlings Using Hyperspectral Data". *Applied Sciences*, 11(24), p. 11798.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). 2026. Data Online BMKG: Ragam Data Historis Meteorologi Kabupaten Asahan Bulan Mei 2026. <https://dataonline.bmkg.go.id>. [1 Juni 2026].
- Badan Pusat Statistik. 2023. Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2023. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Barman, U. et al. 2025. "Smartphone Application for Detecting and Visualizing Basal Stem Rot Disease Stages in Oil Palm". *Frontiers in Remote Sensing*, 6, p. 1553844.
- Blessing, M. 2024. "Automated Detection of Palm Tree Diseases Using Convolutional Neural Networks and Image Recognition". *ResearchGate Publication*, pp. 1-12.
- Hashim, I. C., Shariff, A. R. M., Bejo, S. K., Muharam, F. M., dan Ahmad, K. 2021. "Classification of Non-Infected and Infected with Basal Stem Rot Disease Using Thermal Images and Imbalanced Data Approach". *Agronomy*, 11(12), p. 2373.



**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

- Haw, Y. H., Chuah, J. H., Husin, N. A., Zhao, Z., Voon, W., dan Por, L. Y. 2023. "Detection of Ganoderma Boninense Diseases of Palm Oil Trees Using Machine Learning". *In 2023 IEEE 13th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE)*, pp. 1-6.
- Haw, Y. H. et al. 2023. "Classification of Basal Stem Rot Using Deep Learning: A Review of Digital Data Collection and Palm Disease Classification Methods". *PeerJ Computer Science*, 9, p. e1325.
- Husin, N. A., Baktiar, N. A. H. M., Tagang, V. U., Khairunniza-Bejo, S., dan Yusuf, M. F. M. 2024. "Ganoderma BSR Disease Detection Using Machine Learning with UAV Imagery of Oil Palm Features, Thermal and Visible Spectral Indices". *SSRN Preprint*, SSRN-5304086, pp. 1-33.
- Hyder, M. dan Talpur, N. 2024. "Advanced Deep Transfer Learning Techniques for Efficient Detection of Plant Diseases". *Frontiers in Plant Science*, 15, p. 1441117.
- Kwang, C. S. et al. 2025. "Ganoderma Disease in Oil Palm Trees Using Hyperspectral Imaging and Machine Learning". *Journal of Human, Earth, and Future*, 6(1), pp. 1-15.
- Lajis, G. B. A. 2018. Identification of Basal Stem Rot Disease in Oil Palm Tree Using Thermal Imaging Technique. *Masters Thesis*. Universiti Putra Malaysia.
- Roboflow Universe. 2024. Oil Palm Ganoderma Detection Dataset. <https://universe.roboflow.com/binus-ozszb/oil-palm-ganoderma-detection>. [15 January 2026].



**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

- Susanto, A. 2024. Dampak Ekonomi dan Strategi Pengendalian Penyakit Ganoderma pada Kelapa Sawit Indonesia. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS).
- Tan, M. I. S. M. H., Jamlos, M. F., Omar, A. F., Kamarudin, K., dan Jamlos, M. A. 2023. "Ganoderma Boninense Classification Based on Near-Infrared Spectral Data Using Machine Learning Techniques". *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 232, p. 104718.
- Tripathi, P. et al. 2025. "Comparative Analysis of YOLOv8 and YOLOv9 Models for Real-Time Plant Disease Detection". *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(1), pp. 1-8.
- Ultralytics. 2026. YOLOv26: The State-of-the-Art Object Detection Model Documentation. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>. [15 January 2026].
- Wahyuni, M., Sabrina, T., Mukhlis dan Santoso, H. 2024. "Using Machine Learning in Detecting Ganoderma Disease in Oil Palm Plants". *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12(14s), pp. 586-595.
- Wang, L. et al. 2024. "Precision Agriculture with YOLO-Leaf: Advanced Methods for Detecting Apple Leaf Diseases". *Frontiers in Plant Science*, 15, p. 1452502.
- Xu, Z. dan Wu, C. 2023. "Combination of Transfer Deep Learning and Classical Machine Learning Models for Multi-View Image Analysis". *Computer Sciences & Mathematics Forum*, 7(1), p. 13.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### Visca Chaerunnisa Bachri

Lulus dari SDN Mekarsari 01 pada tahun 2016, SMPN 1 Tambun Selatan pada tahun 2019, dan SMA Budi Mulia Karawang pada tahun 2022. Lahir di Bekasi pada tanggal 8 September 2003 penulis merupakan anak ke-1 dari pasangan Bapak Bachri dan Ibu Almh. Fitriyanti

Pada tahun 2022, penulis melanjutkan pendidikan Diploma IV (Sarjana Terapan) di Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Informatika dan Komputer, Politeknik Negeri Jakarta (PNJ). Selama masa perkuliahan, penulis aktif mendalami bidang *Machine Learning*, *Computer Vision*, dan *Frontend Web Development*. Sebagai salah satu syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Komputer (S.Tr.Kom.), penulis menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Deteksi Dini Penyakit Ganoderma pada Kelapa Sawit Berbasis Web Menggunakan YOLOv26" di bawah bimbingan Dosen Pembimbing Ibu Dr. Prihatin Oktivasari, S.Si., M.Si.

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



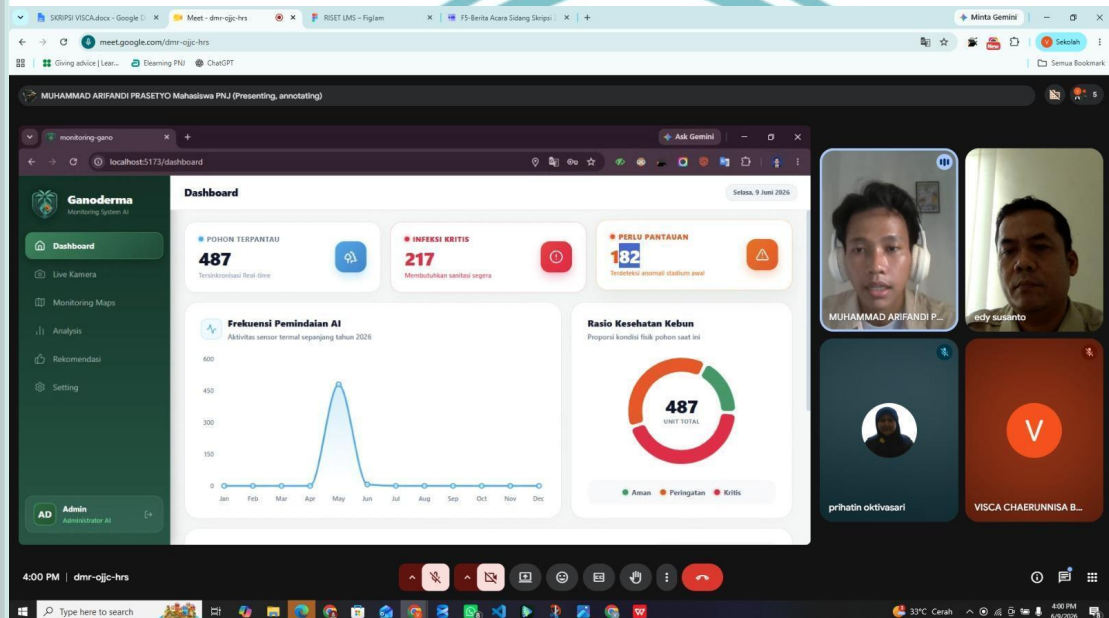
## Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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

## LAMPIRAN

### Lampiran 1: Matriks Pengujian User Acceptance Testing (UAT)



#### GANODETECT DASHBOARD MONITORING

User Requirement Verification & Acceptance Testing (UAT) Sign-Off

##### INFORMASI PROYEK & PENGUJIAN

|                               |                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| Judul Penelitian              | Deteksi Dini Penyakit Ganoderma pada Kelapa Sawit |
| Mahasiswa / Pengembang        | Visca Chaerunnisa Bachri (NIM: 2207411007)        |
| Mahasiswa / Pengembang        | Muhammad Arifandi Prasetyo (NIM: 2207411015)      |
| Mitra Validator / Stakeholder | Tim Hama dan Penyakit Tanaman (HPT) Perkebunan    |
| Hari / Tanggal Pengujian      | 09 Juni 2026                                      |
| Status Sistem                 | Siap Diuji (Two-Stage Pipeline Terintegrasi)      |

##### RINGKASAN HASIL DEMO SISTEM

| Kriteria Evaluasi                              | Rumus / Sumber Data                    | Jumlah | Persentase Kepatuhan |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|--------|----------------------|
| Total Kebutuhan Fungsional (User Requirements) | Total baris fungsional matriks         | 11     | 100                  |
| Kebutuhan Terpenuhi & Lolos Uji (PASS)         | Jumlah Status 'PASS' di lembar matriks | 11     | 100                  |
| Kebutuhan Gagal / Perbaikan (FAIL)             | Jumlah Status 'FAIL' di lembar matriks | 0      | -                    |
| Tingkat Kesiapan Aplikasi Akhir (%)            | Rasio PASS / Total Kebutuhan           | 1      | 100,0%               |

##### LEMBAR PERSETUJUAN & SIGN-OFF

Dengan menandatangani dokumen ini, seluruh fitur utama dalam rancangan bangun sistem dinyatakan telah didemonstrasikan secara langsung dan divalidasi fungsinya sesuai dengan kesepakatan kebutuhan pengguna.

Pihak Penguji / Validator Lapangan

( Edy Susanto )  
Jabatan:

Mahasiswa / Pengembang Aplikasi

( Visca Chaerunnisa Bachri )  
NIM: 2207411007

Mahasiswa / Pengembang Aplikasi

( Muhammad Arifandi Prasetyo )  
NIM: 2207411015



## 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

|    |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------|
| 1  |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 2  | Matriks Data User Requirement & Checklist UAT                                                                           |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 3  | Gunakan lembar kerja ini untuk melakukan checklist 'PASS' atau 'FAIL' saat mendemonstrasikan sistem di depan validator. |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 4  |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 5  | ID<br>Kebutuhan                                                                                                         | Modul / Fitur Utama   | Kriteria Fungsional Kebutuhan                                                                                             | Skenario Demo & Validasi Lapangan                                                                                                                     | Status UAT | Catatan Masukan Pembimbing / Mitra |
| 6  | REQ-001                                                                                                                 | 1. Live Camera        | Mengintegrasikan umpan video langsung (live feed control) dari sensor kamera termal via USB/UVC.                          | Menghubungkan kamera termal Milesee TR256C ke laptop, membuka menu Live Cam, dan memastikan gambar radiasi panas muncul di peramban secara responsif. | PASS       | -                                  |
| 7  | REQ-002                                                                                                                 | 1. Live Camera        | Merekam parameter identitas pohon (Tree ID) dan koordinat spasial (Latitude/Longitude).                                   | Melakukan tangkapan citra (capture) pangkal batang kelapa sawit dan mengonfirmasi data lokasi tersimpan otomatis ke dalam log sistem.                 | PASS       | -                                  |
| 8  | REQ-003                                                                                                                 | 2. Mapping View       | Memetakan posisi koordinat spasial geospasial kelapa sawit secara digital menggunakan penanda (marker).                   | Membuka menu peta interaktif web, memeriksa sebaran lokasi seluruh pohon di area perkebunan terestrial yang ditarik dari database.                    | PASS       | -                                  |
| 9  | REQ-004                                                                                                                 | 2. Mapping View       | Menerapkan pewarnaan marker yang konsisten sebagai indikator kriteria tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit.             | Memastikan marker berwarna Hijau untuk tanaman kondisi Sehat, warna Kuning untuk status Peringatan, dan warna Merah untuk kondisi Kritis/Berat.       | PASS       | -                                  |
| 10 | REQ-005                                                                                                                 | 2. Mapping View       | Menampilkan panel detail drawer interaktif berisi informasi rata-rata suhu dan tingkat keparahan saat marker diklik.      | Menklik salah satu marker di peta (misal objek TR-B-024) dan memvalidasi munculnya info ID pohon, suhu (32.5°C), dan keparahan (99%).                 | PASS       | -                                  |
| 11 | REQ-006                                                                                                                 | 3. Dashboard Analitik | Menampilkan pusat informasi eksekutif (executive summary) berupa akumulasi data statistik populasi total pohon.           | Memeriksa kesesuaian angka pada kartu statistik dashboard overview utama (peta makro total pohon dipantau).                                           | PASS       | -                                  |
| 12 | REQ-007                                                                                                                 | 3. Dashboard Analitik | Visualisasi grafik sebaran dinamika tingkat kesehatan kelapa sawit lintas musim per blok kerja perkebunan.                | Memastikan komponen grafik batang (Bar Chart) merender distribusi jumlah pohon sehat vs terinfeksi dari Blok A hingga Blok E tanpa lag.               | PASS       | -                                  |
| 13 | REQ-008                                                                                                                 | 3. Dashboard Analitik | Visualisasi grafik garis tren pemindaian harian/bulanan untuk pengawasan berkala manajemen perkebunan.                    | Memvalidasi grafik garis (Line Chart) menampilkan data fluktuasi kronologis riwayat pemindaian berkala secara dinamis.                                | PASS       | -                                  |
| 14 | REQ-009                                                                                                                 | 4. Sistem Rekomendasi | Mengeksekusi aturan pengambilan keputusan kondisional (Rule-Based Reasoning IP-THEN) dari output model kecerdasan buatan. | Sistem otomatis menangkap label dari model AI (Sehat/Peringatan/Kritis) untuk diproses ke mesin aturan penanganan agronomi.                           | PASS       | -                                  |
| 15 | REQ-010                                                                                                                 | 4. Sistem Rekomendasi | Menerbitkan kalkulasi estimasi sisa umur waktu produktif kelapa sawit untuk analisis biaya-manfaat operasional.           | Memastikan sisa umur produktif muncul (misal: rentang + 12 bulan untuk kelas Peringatan, atau < 2 bulan untuk kelas Kritis/Berat).                    | PASS       | -                                  |
| 16 | REQ-011                                                                                                                 | 4. Sistem Rekomendasi | Menghasilkan teks instruksi otomatis rekomendasi tindakan teknis agronomi kuratif atau eradikasi fisik di layar.          | Memvalidasi rekomendasi muncul secara otomatis di panel drawers (misal: instruksi aplikasi Trichoderma sp. atau protokol penumbangan/chipping).       | PASS       | -                                  |
| 17 |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 18 |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 19 |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |
| 20 |                                                                                                                         |                       |                                                                                                                           |                                                                                                                                                       |            |                                    |

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 2 : Potongan Kode Program Utama (Source Code Snippets)

### A. Backend Python API – Endpoint Pipeline Inferensi Dua Tahap (backend\_gano/main.py)

```
import base64
import cv2
import numpy as np
from PIL import Image
from datetime import datetime
from fastapi import FastAPI, Depends
from sqlalchemy.orm import Session

#
=====
# PIPELINE KECERDASAN BUATAN (YOLO + HYBRID)
# Fitur: Dekode Base64, Alokasi Koordinat Kamera, dan
# Eksekusi Inferensi
#
=====

@app.post("/api/scan")
def proses_dan_simpan_scan(data: IncomingScanRequest, db: Session = Depends(get_db)):
    now_str = datetime.now().strftime("%d %b %Y %H:%M")

    # 1. Decode Foto Base64 dari Frontend React
    encoded_data = data.gambar_base64.split(",")[1] if
    ", " in data.gambar_base64 else data.gambar_base64
    img_bytes = base64.b64decode(encoded_data)
    np_img = np.frombuffer(img_bytes, np.uint8)
    img_cv = cv2.imdecode(np_img, cv2.IMREAD_COLOR)
    img_asli = Image.fromarray(cv2.cvtColor(img_cv,
    cv2.COLOR_BGR2RGB))

    # 2. Ambil Parameter Telemetri Kamera Termal Mileseeey
    lat_final = data.lat_kamera
    lng_final = data.lng_kamera
    suhu_final = data.suhu
```

**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

```
# 3. Eksekusi Tahap 1: Lokalisasi Objek Pangkal Batang via YOLOv26
# [Logika pemanggilan model_yolo.predict() untuk bounding box]

# 4. Eksekusi Tahap 2: Klasifikasi Tingkat Keparahan Penyakit via ResNet50
# [Logika cropping ROI dan pemanggilan model_klasifikasi.predict()]

# 5. Eksekusi Aturan SPK (Rule-Based Reasoning) & Simpan Database
# [Logika IF-THEN untuk menghasilkan output rekomendasi tindakan]

return {
    "status": "success",
    "datetime": now_str,
    "latitude": lat_final,
    "longitude": lng_final,
    "suhu_rata_rata": suhu_final
}
```

**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

## B. Frontend React Component – Antarmuka Visualisasi Geospasial Grid Kebun (`frontend_gano/MonitoringMaps.jsx`)

```
import { useState, useRef, useEffect } from 'react'
import { ZoomIn, ZoomOut, X, Leaf, AlertTriangle,
AlertCircle, Clock, Shield } from 'lucide-react'
import Sidebar from './Sidebar'

//
=====
// MATRIKS GENERATOR & MAPPING COMPONENT
// Fitur: Pembuat Grid Blok Otomatis, Dynamic Filtering,
dan Polling Real-time DB
//
=====

const generateTrees = (blok, rows, cols) => {
  const trees = []
  for (let r = 0; r < rows; r++) {
    for (let c = 0; c < cols; c++) {
      // Menginisialisasi seluruh titik pohon koordinat
      ke status default
      trees.push({
        id: `TR-${blok}-${String(r * cols + c +
1).padStart(3, '0')}`,
        row: r, col: c, status: 'belum_scan'
      })
    }
  }
  return trees
}

export default function MonitoringMaps({ activeNav,
onNavChange, onLogout }) {
  const [zoom, setZoom] = useState(1)
  const [filter, setFilter] =
useState('semua')
  const [selectedTree, setSelectedTree] = useState(null)
  const [allBlok, setAllBlok] = useState([])
  const mapRef = useRef(null)
```

### 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

```
// Mengambil data status kesehatan pohon dari Backend
API Python secara asinkronus
useEffect(() => {
  const fetchData = async () => {
    try {
      const response = await
fetch('http://127.0.0.1:8000/api/pohon')
      if (response.ok) {
        const treesFromDB = await response.json()

        // Sinkronisasi data grid statis dengan status
        dinamis database
        const mergedBlok = blokConfig.map(b => {
          let trees = generateTrees(b.id, b.rows,
b.cols)

          let countSehat = 0, countPeringatan = 0,
countKritis = 0

          const dbTreesForBlok =
treesFromDB.filter(dbTree => dbTree.blok === b.id)

          dbTreesForBlok.forEach((dbMatch) => {
            const idParts = dbMatch.id_pohon.split('-')
            if (idParts.length === 3) {
              const targetIdx = parseInt(idParts[2],
10) - 1
              if (targetIdx >= 0 && targetIdx <
trees.length) {
                const finalStatus = dbMatch.status ?
dbMatch.status.toLowerCase() : 'sehat'

                if(finalStatus === 'sehat')
countSehat++

                if(finalStatus === 'peringatan')
countPeringatan++

                if(finalStatus === 'kritis')
countKritis++

                trees[targetIdx] = {
                  ...trees[targetIdx],
                  id: dbMatch.id_pohon,
                  status: finalStatus,
                  dbInfo: dbMatch
                }
              }
            }
          })
        })
      }
    } catch (error) {
      console.log('Error fetching data: ', error)
    }
  }
  fetchData()
})
```

### 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

```

    }
  })
  return { ...b, trees, sehat: countSehat,
peringatan: countPeringatan, kritis: countKritis }
  })
  setAllBlok (mergedBlok)
  }
  } catch (error) {
    console.error("Gagal melakukan sinkronisasi data
peta:", error)
  }
  fetchData()
}, [])

return (
  // Render Komponen Antarmuka Web Dashboard (Virtual
DOM Layout)
  <div className="maps-container" style={{ display:
'flex', height: '100vh' }}>
    { /* Integrasi Sidebar Navigasi Utama */ }
    <Sidebar activeNav={activeNav}
onNavChange={onNavChange} onLogout={onLogout} />

    { /* Render Grid Matriks Interaktif Dinamis
berdasarkan Filter Status */ }
    { /* ... [Logika mapping komponen DOM pohon dan
Drawer detail rekomendasi SPK] ... */ }
  </div>
)
}

```

### 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 3 : Dokumentasi Akuisisi Data Lapangan

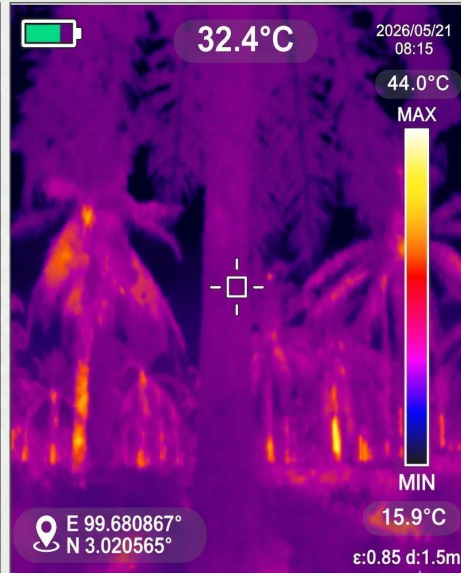


CITRA VISUAL (RGB)



yg rgb sehat

CITRA THERMAL (IR)



yg thermal sehat thermal

## © 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



**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

**Lampiran 4: Surat Keterangan Penelitian / Dokumen Mitra**



Nomor : 179/BSU/HRD-JPM/IV/2026  
Lampiran : •  
Perihal : Jawaban Penerimaan Magang

Kepada Yth.  
Bapak Ir Haolia Rahman, Ph. D  
Kepala Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat  
Politeknik Negeri Jakarta  
di-  
Jakarta

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat permohonan pengambilan data lapangan Nomor 158/DST/PL3.14/B/PT.00.0/2026 dari Fakultas Teknik Informatika dan Komputer Politeknik Negeri Jakarta, bersama ini kami sampaikan bahwa PT Bakrie Sawit Unggul menyetujui dan menerima mahasiswa untuk melaksanakan kegiatan penelitian, dengan data sebagai berikut:

Nama : Visca Chaerunnisa Bachri  
NIM : 2207411007  
Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer  
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jakarta

Nama : Muhammad Arifandi Prasetyo  
NIM : 2207411015  
Program Studi : Teknik Informatika dan Komputer  
Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Jakarta

Demikian surat jawaban penerimaan magang ini kami sampaikan. Atas perhatian dan kerja samanya, kami ucapkan terima kasih.

Kisaran, 20 April 2026  
Hormat kami,



**Ukur Kami Surbakti**  
Direktur Operasional

PT Bakrie Sawit Unggul  
OO  
PT Bakrie Sumatera Plantation Tbk  
Bakrie Tower 19th Floor  
Jl.H.R. Rasuna Said  
Jakarta 12960, Indonesia  
Telp. +62-21 2994 1286-87

Office Kisaran  
Jl. Abdi Seto Bakli No. 01 Kisaran  
Kabupaten Asahan 21211  
Sumatera Utara, Indonesia  
Telp. +62852 1330 2018