PERANCANGAN SISTEM MONITORING KESEHATAN KELAPA SAWIT BERBASIS IOT DENGAN DETEKSI PENYAKIT MENGGUNAKAN SENSOR MULTISPECTRAL DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

ALWI AZHARI HASIBUAN
2209020133

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi	:	PERANCANGAN SISTEM MONITORING KESEHATAN KELAPA SAWIT BERBASIS IOT DENGAN DETEKSI PENYAKIT MENGGUNAKAN SENSOR MULTISPECTRAL DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)
Nama Mahasiswa	:	ALWI AZHARI HASIBUAN
NPM	:	2209020133
Program Studi	:	TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing

(Dr.Al-Khowarizmi,S.Kom,M.Kom)
NIDN. 0127099201

Ketua Program Studi

(Fatma Sari Hutagalung, S.Kom, M.Kom)
NIDN. 0117019301

Dekan

(Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.)
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KESEHATAN KELAPA SAWIT BERBASIS IOT DENGAN DETEKSI PENYAKIT MENGGUNAKAN SENSOR MULTISPECTRAL DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 07 September 2026 Yang membuat pernyataan



HARI HASIBUAN NPM. 2209020133

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: ALWI AZHARI HASIBUAN
NPM	2209020133
Program Studi	: TEKNOLOGI
INFORMASI Karya Ilmiah	: Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif *(Non-Exclusive Royalty free Right)* atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KESEHATAN KELAPA SAWIT BERBASIS IOT DENGAN DETEKSI PENYAKIT MENGGUNAKAN SENSOR MULTISPECTRAL DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 07 September 2026 Yang membuat pernyataan



ALWI AZHARI HASIBUAN NPM. 2209020133

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap	: Alwi Azhari Hasibuan
Tempat dan Tanggal Lahir	: Hasahatan Julu 23-03-
2004 Alamat Rumah	: Hasahatan Julu
Telepon/Faks/HP	085373106304
E-mail	: alwiazhari302@gmail.com
Instansi Tempat Kerja	: -
Alamat Kantor	: -

DATA PENDIDIKAN

SD	: Negeri 0122 Hasahatan Julu	TAMAT: 2014
SMP	: Negeri 1 barumun baru	TAMAT: 2017
SMA	: Negeri 1 barumun	TAMAT:2021

KATA PENGANTAR



Penulis tentunya berterima kasih kepada berbagai pihak dalam dukungan serta doa dalam penyelesaian skripsi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Akrim, M.Pd., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU)
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Dr. Firahmi Rizky, S.Kom.,M.Kom selaku wakil dekan I Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
4. Bapak Mhd. Basri, S.Si, M.Kom. selaku wakil dekan III Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU. Sekaligus dosen Pembimbing Skripsi yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi dengan penuh kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Ibu Fatma Sari Hutagalung S.Kom., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
6. Okvi Nugroho, S.Kom., M.Kom selaku Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
7. **Ayah tercinta, Parlindungan**, terima kasih atas segala doa, kasih sayang, perhatian, pengorbanan, dan dukungan yang telah Ayah berikan kepada penulis. Terima kasih karena telah menerima, membimbing, dan menyayangi penulis dengan tulus seperti anak kandung sendiri. Kasih sayang dan

ketulusan Ayah menjadi sumber semangat dan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan kesehatan, kebahagiaan, serta membalas segala kebaikan Ayah dengan balasan yang terbaik. Aamiin.

8. **Ibunda tercinta, Ibu Rita Khairani**, yang selalu mendoakan, memberi semangat, dan menjadi sumber kekuatan dalam setiap langkah penulis. Terima kasih atas kasih sayang, doa yang tidak pernah putus, dan semua pengorbanan yang tak ternilai.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu dengan kerendahan hati peneliti sangat mengharapkan kritik serta saran masukan guna untuk membangun serta menyempurnakan skripsi ini dari semua pihak.

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih semoga skripsi ini dapat penulis lanjutkan dalam penelitian dan akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang menjadi salah satu syarat peneliti menyelesaikan studi di Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara**.**

Wassalamualaikum Wr.Wb

Medan, 07 September 2026

Alwi Azhari Hasibuan
NPM. 2209020133

PERANCANGAN SISTEM MONITORING KESEHATAN KELAPA SAWIT BERBASIS IOT DENGAN DETEKSI PENYAKIT MENGGUNAKAN SENSOR MULTISPECTRAL DAN CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK(CNN)

ABSTRAK

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia yang memiliki peran besar terhadap perekonomian nasional. Namun, produktivitas tanaman kelapa sawit dapat mengalami penurunan akibat serangan penyakit yang sering kali sulit dideteksi secara dini melalui pengamatan visual. Proses identifikasi penyakit secara konvensional membutuhkan waktu, tenaga, dan ketelitian serta berpotensi menghasilkan diagnosis yang kurang akurat. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem monitoring yang mampu melakukan pemantauan kondisi kesehatan tanaman secara efektif, cepat, dan akurat. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring kesehatan kelapa sawit berbasis ***Internet of Things (IoT*)** dengan memanfaatkan ***sensor multispectral*** dan metode ***Convolutional Neural Network (CNN)*** untuk mendeteksi penyakit pada tanaman kelapa sawit. Sensor multispectral digunakan untuk memperoleh informasi karakteristik spektral tanaman yang dapat menunjukkan perubahan kondisi kesehatan tanaman, sedangkan CNN digunakan untuk melakukan pengolahan dan klasifikasi data berdasarkan pola yang diperoleh. Sistem IoT berfungsi dalam proses pengumpulan, pengiriman, dan pemantauan data secara real-time melalui jaringan internet sehingga kondisi tanaman dapat dipantau secara lebih efisien. Tahapan penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, pengumpulan data tanaman sehat dan tanaman yang terindikasi penyakit, pengolahan data multispectral, pelatihan model CNN, pengujian akurasi sistem, serta integrasi sistem monitoring berbasis IoT. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah terciptanya sistem monitoring yang mampu mendeteksi kondisi kesehatan dan penyakit kelapa sawit secara otomatis serta memberikan informasi hasil deteksi secara real-time. Sistem ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam mendukung proses pemantauan dan pengelolaan kesehatan tanaman kelapa sawit secara lebih efektif dan berbasis teknologi.

Kata kunci: Kelapa Sawit, Internet of Things (IoT), Sensor Multispectral, Convolutional Neural Network (CNN), Deteksi Penyakit, Monitoring Kesehatan Tanaman.

DESIGN OF AN IOT-BASED OIL PALM HEALTH MONITORING SYSTEM WITH DISEASE DETECTION USING MULTISPECTRAL SENSORS AND CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS (CNN)

ABSTRACT

Oil palm is a vital plantation commodity in Indonesia, playing a significant role in the national economy. However, productivity can decline due to disease outbreaks that are often difficult to detect early through visual inspection. Conventional disease identification methods are time-consuming, labor-intensive, and demanding of precision, while also carrying the risk of inaccurate diagnoses. Therefore, there is a need for a monitoring system capable of assessing plant health effectively, rapidly, and accurately. This research aims to design an Internet of Things (IoT)-based oil palm health monitoring system utilizing multispectral sensors and Convolutional Neural Network (CNN) methods to detect diseases. Multispectral sensors are employed to capture spectral characteristics indicative of changes in plant health, while CNNs process and classify the data based on the observed patterns. The IoT system facilitates real-time data collection, transmission, and monitoring via the internet, enabling more efficient assessment of plant conditions. The research stages include hardware and software design, data collection (covering both healthy and diseased plants), multispectral data processing, CNN model training, system accuracy testing, and the integration of the IoT-based monitoring system. The expected outcome is a monitoring system capable of automatically detecting oil palm health status and diseases, while providing real-time detection results. This system is intended to serve as a technology-driven solution to support more effective monitoring and management of oil palm health.

Keywords : Oil Palm, Internet of Things (IoT), Multispectral Sensor, Convolutional Neural Network (CNN), Disease Detection, Plant Health Monitoring.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN..... i
PERNYATAAN ORISINALITAS ii
SKRIPSI ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI ix
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR GAMBAR xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 5
BAB II LANDASAN TEORI 6
2.2 Convulational Neural Network 7
2.3 Kelapa Sawit 10
2.4 Kesehatan Kelapa Sawit 12
2.5 Penginderaan Jauh 13
2.6 Citra Satelit Landsat 2 14
2.7 Citra Satelit 8 15
2.8 Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI) 16
2.9 Normalized Difference Moisture Indeks (NDMI) 17
2.10 Unified Modelling Languange (UML) 17
2.11 Hypertext Pre Processor (PHP) 19
2.12 Penelitian Terlebih Dahulu 19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 26
3.1 Jenis Penelitian 26
3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian 26
3.3 Diagram Tahapan Penelitian 27
3.4 Arsitektur Perancangan Sistem 30
3.5 Alat Dan Bahan 33
1. Alat 34
2. Bahan 34
3.6 Dashboard Rancangan Sistem 35
3.7 Rangkain Perancangan Sistem 35
3.8 Tahapan Ekstraksi menggunakan sensor multispectral 38
3.9 Tahap Klasifikasi Menggunakan Convolutional Neural Network(CNN) 41
BAB IV 45
4.1 Implementasi Sistem 45
4.1.1 Implementasi Perangkat Keras (Hardware) 45
4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak dan Antarmuka (Dashboard Web) 47
4.1.3 Implementasi Model Convolutional Neural Network (CNN) 49
4.2 Pengujian Sistem dan Evaluasi 52
4.2.1 Pengujian Sensor Lingkungan 52
4.2.2 Pengujian Transmisi Data IoT ke Firebase 53

4.2.3 Evaluasi Kinerja Model CNN 54
4.2.4 Pengujian Black-Box Antarmuka Web 56
4.3 Pembahasan 58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 60
5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses Konvolusi 9
Tabel 2.2 Proses Max Pooling 10
Tabel 2.3 Karakteristik Band 2 14
Tabel 2.4 Karakteristik Band 8 16
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu 20

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Internet of Things* dalam Perkenbunan 7
Gambar 2.2 Bibit Kelapa Sawit 11
Gambar 3.1 Diagram Proses Penelitian 27
Gambar 3.2 Diagram Rancangan Sistem 31
Gambar 3.3 Dashboard Rancangan Sistem 35
Gambar 3.4 Wring Alat 35
Gambar 4.1 Hasil Rangkaian Alat 47
Gambar 4.2 Dashboard Web 49
Gambar 4.3 Hasil Implementasi CNN 51
Gambar 4.4 Data Telemetri ke Firebase 54
Gambar 4.5 Klasifikasi CNN Pada Dashboard 56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tanaman kelapa sawit hidup dinegara tropis seperti Indonesia, Malaysia, Papua Nugini, dan Thailand. Di Indonesia, tanaman kelapa sawit mempunyai peran besar bagi pertumbuhan perkebunan. Perkebunan kelapa sawit di Indonesia kian mengalami perkembangan dan menyingsing Indonesia sebagai penghasil nomor satu minyak sawit yang menghasilkan lebih dari 44% minyak sawit dunia (Widians, Taruk, Fauziah, & Setyadi, 2019).

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan strategis yang memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia. Indonesia sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia sangat bergantung pada produktivitas dan kualitas tanaman sawit untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun internasional. Namun, produktivitas kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh kondisi kesehatan tanaman, terutama akibat serangan penyakit yang sering kali sulit dideteksi pada tahap awal.tetapi juga pada efesiensi proses akademik yang melibatkan mahasiswa dan dosen.untuk mendapatkan gelar sarjana sastra satu, mahasiswa program sarjana harus menyelesaikan tugas akhir(Andriani& Wibawanta,2020).

Penyakit pada tanaman kelapa sawit, seperti busuk pangkal batang (Ganoderma), bercak daun, dan stres nutrisi, dapat menyebabkan penurunan hasil produksi secara signifikan bahkan kematian tanaman. Permasalahan utama yang dihadapi dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit adalah proses pemantauan kesehatan tanaman yang masih banyak dilakukan secara manual melalui observasi

visual oleh tenaga lapangan. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain membutuhkan waktu yang lama, biaya operasional yang tinggi, ketergantungan pada pengalaman pengamat, serta tingkat subjektivitas yang tinggi sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam penanganan penyakit.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif dalam bidang pertanian dan perkebunan melalui sistem monitoring yang terintegrasi, real-time, dan otomatis. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data dari berbagai sensor yang terpasang di lingkungan perkebunan untuk memantau kondisi tanaman secara kontinu. Dengan adanya sistem monitoring berbasis IoT, informasi terkait kondisi tanaman dapat diakses dengan lebih cepat dan akurat, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih efektif.

Selain itu, pemanfaatan sensor multipektral menjadi salah satu pendekatan yang menjanjikan dalam mendeteksi kesehatan tanaman. Sensor multipektral mampu menangkap informasi spektrum cahaya pada berbagai panjang gelombang yang tidak dapat dideteksi oleh mata manusia. Perubahan kondisi fisiologis tanaman akibat penyakit atau stres lingkungan akan memengaruhi karakteristik reflektansi spektral daun. Oleh karena itu, data multispektral dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mendeteksi adanya gangguan kesehatan pada tanaman kelapa sawit sebelum gejala visual muncul secara jelas.

Namun, data multipektral yang dihasilkan memiliki kompleksitas tinggi dan membutuhkan metode analisis yang mampu mengekstraksi pola-pola penting secara otomatis. Dalam hal ini, Convolutional Neural Network (CNN) sebagai salah satu metode deep learning terbukti efektif dalam pengolahan dan klasifikasi citra, termasuk citra multipektral. CNN memiliki kemampuan untuk mengenali fitur-fitur

penting secara otomatis melalui proses pembelajaran, sehingga sangat cocok digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan penyakit tanaman berdasarkan pola spektral dan visual.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan teknologi IoT, sensor multipektral, dan algoritma CNN untuk memantau kesehatan tanaman kelapa sawit secara otomatis dan berkelanjutan. Sistem monitoring kesehatan kelapa sawit berbasis IoT dengan deteksi penyakit menggunakan sensor multipektral dan Convolutional Neural Network diharapkan dapat membantu pengelola perkebunan dalam melakukan deteksi dini penyakit, meningkatkan efisiensi pemeliharaan tanaman, mengurangi kerugian akibat keterlambatan penanganan, serta mendukung praktik perkebunan yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diajukan pada penelitian ini adalah bagaimana pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dari citra satelit sentinel-2 dan citra satelit landsat 8 untuk melakukan analisis tingkat kesehatan tanaman kelapa sawit pada perkebunan kelapa sawit di Kecamatan Barumun, Kabupaten Padang Lawas

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dengan judul *"Perancangan Sistem Monitoring Kesehatan Kelapa Sawit Berbasis IoT dengan Deteksi Penyakit Menggunakan Sensor Multipektral dan Convolutional Neural Network (CNN)"* lebih terfokus, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pengembangan sistem monitoring kesehatan tanaman kelapa sawit berbasis Internet of Things (IoT).
2. Pengujian sistem dilakukan dalam skala terbatas dan tidak mencakup seluruh kondisi lingkungan perkebunan kelapa sawit yang beragam.
3. Pengecekan lapangan (ground check) tentang kesehatan kelapa sawit berfokus pada kondisi fisik tanaman berupa kondisi pohon, kehijauan daun, kerapatan tajuk, ada atau tidaknya hama penyakit tanaman, dan lain sebagainya
4. Sistem tidak membahas faktor pemupukan, pengairan, maupun pengendalian hama dan penyakit secara langsung.
5. Penelitian tidak membahas metode pengobatan atau penanganan penyakit tanaman secara langsung.
6. Integrasi sistem terbatas pada perangkat sensor, modul IoT, dan platform pengolahan data.
7. Deteksi penyakit hanya dilakukan pada beberapa jenis penyakit utama pada kelapa sawit.
8. Penelitian ini menggunakan citra satelit sentinel-2 level 2A dan citra satelit landsat 8 dengan berdasarkan beberapa kali perekaman.
9. Metode transformasi penelitian ini menggunakan indeks vegetasi Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI) dan indeks kelembaban Normalized Difference Moisture Indeks (NDMI) dengan data pendukung kesesuaian lahan, suhu permukaan lahan, serta pengecekan lapangan.
10. Penilaian kualitas interpretasi dari citra dilakukan dengan pengecekan lapangan (ground check) secara acak atau random sampling.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian dengan judul *"Perancangan Sistem Monitoring Kesehatan Kelapa Sawit Berbasis IoT dengan Deteksi Penyakit Menggunakan Sensor Multispektral dan Convolutional Neural Network (CNN)"* adalah sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun sistem monitoring kesehatan tanaman kelapa sawit berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan secara real-time.
2. Menghasilkan sistem monitoring yang dapat membantu proses deteksi dini penyakit pada tanaman kelapa sawit guna mendukung pengelolaan perkebunan yang lebih efektif.
3. Menguji dan mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi penyakit kelapa sawit.
4. Memberikan solusi pendukung dalam deteksi dini penyakit tanaman kelapa sawit guna meningkatkan efektivitas pengelolaan perkebunan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 *Internet of Things* (IOT) dalam perkebunan

Penerapan *Internet of Things*(IoT) dalam perkebunan telah membawa transformasi besar dalam meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan praktik agrikultur, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time dari berbagai sensor nirkabel yang dipasang di lahan pertanian, termasuk sensor kelembaban tanah, suhu udara, intensitas cahaya, dan bahkan deteksi kehadiran hama atau gejala penyakit tanaman. Penelitian oleh Kementerian Pertanian RI (2023) menunjukkan bahwa adopsi sistem pertanian cerdas (smart farming) berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk hingga 25–30%, serta menghasilkan panen yang lebih optimal. Di tingkat internasional, Zhang et al. (2022) dalam Journal of Agricultural Informatics mengemukakan bahwa sistem IoT berbasis Loradan edge computing memungkinkan pengawasan tanaman secara kontinyu, dengan latensi rendah dan konsumsi energi minimal, sehingga cocok untuk kondisi pedesaan. Integrasi teknologi ini mendukung keputusan agronomis berbasis data yang lebih presisi dan responsif terhadap perubahan kondisi lapangan. Berikut adalah bentuk gambar dari *Internet Of Things* pada gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2. 1 Internet of Things dalam perkebunan

IoT adalah teknologi yang bekerja secara jarak jauh yang memungkinkan pengguna mampu berkomunikasi secara langsung melalui perangkat yang dapat dibawa kemanapun melalui jaringan internet. IoT bermanfaat sebagai sistem pemantau melalui jaringan internet, sehingga mampu mengurangi biaya operasional dalam mengelola suatu kebutuhan yang memerlukan pemantauan secara terus – menerus.Sistem IoT memiliki peran yang sangat penting yang memungkinkan untuk penghematan energi yang digunakan Berdasarkan pendapat para peneliti sebelumnya, maka penulis dapat menyimpulkan bahwa iot disebut sebagai sistem pengelolahan data secara jarak jauh, merupakan teknologi yang saat ini bermanfaat untuk berbagai jenis alat elektronik maupun sistem purwarupa yang dirancang dan dikembangkan menjadi alat yang serbaguna yang mampu meningkatkan efisiensi terhadap waktu yang digunakan dalam mengelola apapun yang membutuhkan pemantauan secara jarak jauh.

2.2 Convulational Neural Network

Convolutional Neural Network (CNN) merupakan evolusi dari Multilayer Perceptron (MLP) yang ada pada neural network bertipe feed forward (tidak berulang). Convolutional Neural Network dirancang agar memproses informasi yang memiliki dua dimensi. CNN juga masuk kedalam golongan Deep Neural

Network dikarenakan kedalaman layer yang besar juga sering diimplementasikan pada data citra (E. P, Wijaya, & Soelaiman, 2016). CNN sering dipakai untuk mengidentifikasi dan mengenali objek dalam gambar menganalisis gambar visual, yang memiliki vektor dengan ukuran tinggi nantinya menyangkutkan beberapa parameter untuk mendeteksi layer. Pada dasarnya, CNN tidak terlalu jauh berbeda dari neural network umumnya. CNN terdiri dari neuron yang mempunyai weight, bias dan activation function.

a. Convolutional Layer

Convolutional layerialah lapisan pertama yang adalah dasar arsitektur sebuah CNN. Pada Convolutional layer terjadi proses operasi konvolusi dengan cara operasi kombinasi linear filter kepada wilayah lokal. Pada pemrosesan citra, konvolusi memiliki arti menerapkan satu kernel pada citra di semua offset yang membolehkan. Biasanya library yang memakai CNN, korelasi silang disebut juga dengan konvolusi yang juga adalah sebuah konvolusi, tetapi tidak membalik kernel.

Persamaan dan contoh operasi konvulusi :

$\boldsymbol{s(t) = (x * w)(t)}$ Keterangan :

s(t) = Fungsi hasil operasi konvolusi x = Input

w = bobot (kernel)

Fungsi s(t) mengeluarkan hasil tunggal yaitu feature map. Argumen pertama ialah masukan yang adalah x kemudian argumen kedua w sebagai filter atau kernel.

Tabel 2.1 Proses Konvolusi

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	0
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

Filter

1	0	1
0	1	0
1	0	1

Feature Map

4	3	4
2	4	3
2	3	4

b. Rectification Linear Unit (ReLU)

ReLU (Rectification Linear Unit) adalah cara untuk mengenali non-linearitas juga menambah dari kinerja dari suatu model. Rumus dan contoh operasi ReLU dapat dilihat pada persamaan 2.2.

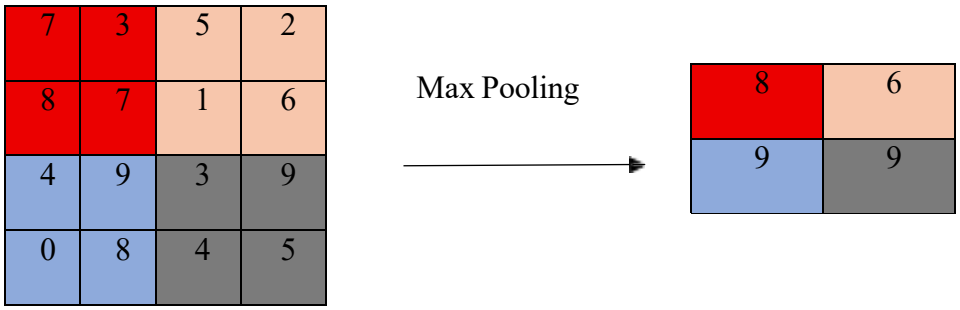
$$\boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{max}(\mathbf{0}, \boldsymbol{x})$$

c. Pooling Layer

Pooling atau subsampling adalah lapisan yang berfungsi akan mempekecil nilai suatu matriks dan mengurangi informasi yang ada, Pada max pooling prosesnya yaitu dengan cara membagi matriks menjadi sejumlah grid yang lebih kecil, kemudian memasukan value tertinggi melalui masing-masing grid. Persaman dan contoh operasi max pooling dapat dilihat pada persamaan 2.3.

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{max}_{,}^{\mathbf{H,W}}\mathbf{X}_{\mathbf{I,j}}$$

Tabel 2. 2 Proses Max Pooling



d. Fully Connected Layer

Pada layer ini ialah kesatuan dari output dari proses konvolusi. Pada tahap ini sejumlah neuron dari layer sebelumnya terhubung dengan neuron lainya sehingga menjadi seperti jaringan syaraf tiruan. Layer ini menerima masukan dari keluaran pada proses sebelumnya untuk mempunyai fitur mana yang paling cocok hubungannya pada kelas tertentu. Guna layer ini ialah untuk mengumpulkan keseluruhan yang sebelumnya node dua dimensi dijadikan satu dimensi (vector). Proses penggabungan semua node itu dapat disebut juga dengan flatten.

e. Softmax

Softmax adalah fungsi pengorganisasian yang bertujuan untuk dapat mempunyai hasil klasifikasi (Mahmud, Adiwijaya, & Faraby, 2019). Point kelas didapat dengan menggunakan aktivasi softmax.

2.3 Kelapa Sawit

Kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) merupakan komoditas perkebunan unggulan bagi Indonesia. Kelebihan kelapa sawit dibanding tanaman penghasil minyak nabati lainnya ialah umur ekonomis yang lama, produksi per-hektar yang tinggi, kemampuan beradaptasi yang baik terhadap perubahan lingkungan, dan pengolahan serta pemanfaatan yang luas di sektor lain (Simangunsong, 2011).

Produk turunan kelapa sawit menjadi bahan baku industri yang memegang peranan penting dan sebagai salah satu andalan ekspor non-migas yang mampu memberikan pemasukan devisa bagi negara. Selain sebagai salah satu penghasil devisa negara,kelapa sawit juga bersifat padat karya (labour intensive) sehingga banyak membuka lapangan.



Gambar 2. 2 Bibit Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan pertanian di Indonesia, yang memiliki peran utama dalam menghasilkan minyak sawit mentah atau Crude Palm Oil (CPO) yang didapat dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit (Arifandy dkk., 2021). Kelapa sawit juga merupakan bahan baku untuk industri sabun, industri lilin, dan industri kosmetik.

Produktivitas dari perkebunan kelapa sawit menghasilkan keuntungan besar ehingga banyak hutan dan perkebunan terbengkalai dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit mulai berbunga dan membentuk buah setelah berumur 2 – 3 tahun. Buah menjadi matang sekitar 5 – 6 bulan setelah penyerbukan. Proses pematangan buah kelapa sawit dapat dilihat dari perubahan warna kulitnya. Tandan buah kelapa sawit yang matang mempunyai warna cerah yang didominasi oleh warna kuning kemerahan, dan hitam atau ungu

tua yang disebut buah mengkal atau belum matang. Pada saat buah matang, kandungan minyak daging buah telah mencapai jumlah optimal.

2.4 Kesehatan Kelapa Sawit

Menurut (Pangetsu & Bonowati,2023), Produktivitas kelapa sawit dapat diketahui melalui kondisi kesehatan tanaman kelapa sawit. Dengan demikian mengetahui kesehatan kelapa sawit sangat penting bagi pengelola perkebunan dalam membuat keputusan karena dapat memberikan informasi berupa luas areal perkebunan, distribusi tanaman, maupun produksi potensial kelapa sawit. Salah satu cara untuk mengetahui tanaman yang sakit ialah dengan mengamati bagian daunnya. Tanaman yang kekurangan nutrisi akan menunjukkan gejala layu pada daun, berubahnya warna daun, perubahan penampakan daun dan produksi tanaman yang menurun.

Berdasarkan visualisasi warna, tanaman kelapa sawit dengan kesehatan baik memiliki tutupan daun atau kanopi yang hijau, sedangkan untuk kesehatan yang buruk cenderung memiliki warna tajuk yang berbeda mulai dari hijau kekuningan hingga coklat, akibat dari kekurangan air dan unsur hara esensial. Selain itu, kerapatan tajuk merupakan ciri fisik penting karena jumlah pelepah dapat menginformasikan tanaman kelapa sawit dalam kondisi sehat atau tidak. Secara khusus, pohon kelapa sawit yang sehat memiliki pelepah yag sangat lebat dan jika dilihat dari sudut vertikal hampir tidak mungkin untuk melihat tanah yang berada dibawahnya (Yarak dkk., 2021).

Menurut Margareta (2022) kesehatan kelapa sawit dapat diketahui dengan dua metode yaitu secara terestris dan penginderaan jauh. Secara terestris kesehatan kelapa sawit dapat diketahui dengan melihat kondisi pelepahnya, jika daun berwarna hijau berkilat dan tidak kusam, diameter dan lebar batang sama dari atas ke bawah, serta panjang pelepah normal. Hasil yang didapatkan dari metode ini cenderung lebih akurat tetapi memerlukan tenaga yang banyak dan waktu yang cukup lama. Sedangkan metode kedua memanfaatkan teknologi penginderaan jauh yang didasarkan pada nilai piksel karena adanya interaksi antara tajuk kelapa sawit dengan sensor penginderaan jauh. Metode ini dapat memantau kesehatan tanaman kelapa sawit secara efektif dan efisien, tetapi untuk keakuratan hasil yang didapatkan sangat bergantung pada resolusi citra dan metode pengolahan yang digunakan dalam pengamatan.

2.5 Penginderaan Jauh

Menurut (Soenarmo,2009), Penginderaan jauh dapat didefinisikan sebagai ilmu, teknik, dan seni untuk mendapatkan informasi dari kondisi fisik suatu objek atau benda, target, sasaran, wilayah, dan fenomena tanpa adanya kontak langsung dengan benda atau objek tersebut. Penginderaan jauh dilakukan dengan mengukur nilai gelombang elektromagnetik pantulan maupun pancaran dari objek yang akan diamati. Objek di permukaan bumi akan memantulkan energi berupa gelombang elektromagnetik yang selanjutnya akan ditangkap dan di rekam oleh sensor. Data dari penginderaan jauh dapat berupa citra, grafik, dan data numerik.

Analisis data penginderaan jauh memerlukan data tambahan seperti peta tematik, data statistik, dan data lapangan. Hasil analisis yang diperoleh berupa informasi mengenai hamparan lahan, jenis tutupan lahan, kondisi lokasi, dan

kondisi sumber daya daerah yang diamati (Purwadhi, 2001). Salah satu bentuk data dari penginderaan jauh yaitu citra satelit. Citra satelit sentinel merupakan salah satu citra yang banyak digunakan dalam aplikasi penginderaan jauh karena cukup baik dalam menginterpretasikan tutupan lahan yang luas.

2.6 Citra Satelit Landsat 2

`Citra satelit sentinel-2 merupakan citra penginderaan jauh yang diluncurkan pada tahun 2015 sebagai bagian dari program Copernicus European Space Agency (ESA). Citra satelit ini dilengkapi dengan sensor pasif multispektral yang memiliki jumlah kanal sebanyak 13 buah yang mencakup sensor tampak, inframerah dekat, dan inframerah gelombang pendek. Kanal tersebut terdiri dari 4 kanal beresolusi 10 m, 6 kanal beresolusi 20 m, dan 3 kanal beresolusi 60 m dengan area sapuan 290 km. Satelit sentinel-2 memiliki resolusi spasial yang tergolong tinggi.

Tabel 2. 3 Karakteristik Band 2

Band	Panjang Gelombang(jum)	Resolusi Spasial(m)
Band 1- Coastal Aerosol	0,443	60
Band 2- Blue	0,490	10
Bnad 3- Green	0,560	10
Band 4- Red	0,665	10
Band 5- Vegetation Red Edge	0,705	20
Bnad 6- Vegetation Red Edge	0,740	20
Band 7- Vegetation Red Edge	0,783	20
Band 8- NIR	0,842	10

Band 9- Water Vapour	0,945	60
Band 10- SWIR - Cirrus	1,375	60
Band 11- SWIR	1,610	20
Band 12- SWIR	2,190	20

2.7 Citra Satelit 8

Citra satelit landsat 8 merupakan citra dengan resolusi menengah yang satelitnya diluncurkan pertama kali pada bulan Februari 2013 sebagai pembaruan dari landsat sebelumnya. Landsat 8 memiliki dua sensor yaitu Operational Land Imager (OLI) dan Thermal Infrared Sensor (TIRS) dengan jumlah kanal sebanyak 11 buah. Kanal tersebut terdiri dari band 1 sampai band 9 yang berada ada sensor OLI sedangkan band 10 dan band 11 berada pada sensor TIRS. Landsat 8 memiliki resolusi spasial hingga 30 m untuk saluran multispectral dan 15 m untuk saluran pankromatik (USGS, 2016).

Ada sensor termal (band 10 dan band 11) dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi suhu permukaan bumi dengan resolusi spasial 100 m. pemanfaatan sensor ini dapat membedakan suhu permukaan bumi yang lebih panas dari area sekitarnya. Pengujian telah dilakukan untuk melihat tampilan kawah puncak gunung berapi yang suhunya lebih panas, dimana hasil yang ditampilkan lebih terang dari area sekitarnya pada citra landsat 8. Oleh karena itu, citra ini diperlukan untuk mengetahui data suhu permukaan lahan pada suatu lokasi (Andini, 2023).

Tabel 3. Karakteristik Band, Panjang Gelombang dan Resolusi Spasial pada Citra Satelit Landsat 8.

Tabel 2. 4 Karakteristik Band 8

Band	Panjang Gelombang(jum)	Resolusi Spasial(m)
Band 1- Coastal Aerososl	0.435 – 0.451	30
Band 2- Blue	0.452 – 0.512	30
Band 3- Green	0.533 – 0.590	30
Band 4 - Red	0.636 – 0.673	30
Band 5 – Near Infrared	0.851 – 0.879	30
Band 6 – SWIR-1	1.566 – 1.651	30
Band 7 – SWIR-2	2.107 – 2.294	30
Band Pankromatik	0.503 – 0.676	15
Band Cirrus	1.363 – 1.384	30
Band 10 TIRS - 1	10,60- 11,19	100
Band 11 TIRS -2	11,50-12,51	100

2.8 Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI)

Transformasi indeks vegetasi merupakan teknik analisis citra yang biasanya digunakan dalam analisis vegetasi, terdapat banyak jenis transformasi indeks vegetasi salah satunya yaitu NDVI. Normalized Difference Vegetation Indeks (NDVI) merupakan perhitungan citra yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehijauan tumbuhan yang merupakan kombinasi matematis antara band merah dan band Near Infrared Radiation (NIR) yang digunakan sebagai indikator keberadaan dan kondisi tumbuhan. NDVI dapat memiliki korelasi dengan

parameter biofisikal daun yang dapat dilihat pada kondisi awal dan akhir siklus kehidupan tanaman, khususnya untuk rata-rata jumlah daun percabang, area tumbuhan daun dan indeks klorofil sehingga parameter ini dapat menentukan karakteristik atau mengestimasi model luasan daun (Junges dkk., 2019).

2.9 Normalized Difference Moisture Indeks (NDMI)

Normalized Difference Moisture Index (NDMI) merupakan metode transformasi indeks yang dapat menunjukkan tingkat kelembaban suatu lahan. NDMI adalah metode baru yang diperoleh dengan menggunakan prinsip yang sama dengan perhitungan NDVI sehingga nilainya saling berbanding lurus. Daerah vegetasi dan tutupan lahan yang ditampilkan pada NDVI terlihat daerah perairan tampak lebih gelap karena adanya perbedaan karakteristik dalam memantulkan radiasi gelombang.

Konsep NDMI yang diusulkan oleh (Gao, 1996 dalam Zhang dkk., 2017) menilai status air dengan kombinasi NIR dan inframerah gelombang pendek (SWIR) karena keduanya terletak di dataran tinggi kanopi vegetasi dengan reflektansi tinggi dan merasakan kedalaman kanopi vegetasi yang serupa. Sedangkan untuk pemantauan vegetasi pertanian pada citra satelit sentinel-2 dapat digunakan kombinasi Vegetation Red Edge yang berfungsi sebagai pemantauan Leaf Area Index (LAI) dan inframerah gelombang pendek (SWIR).

2.10 Unified Modelling Languange (UML)

UML adalah bahasa grafis yang digunakan untuk merekam, menentukan, dan membuat sistem perangkat lunak. UML berorientasi objek, menerapkan abstraksi bertingkat, bukan berbasis proses pengembangan, bukan berbasis bahasa dan teknologi, mengintegrasikan banyak simbol di berbagai metodologi adalah

upaya bersama dari banyak pihak dan didukung oleh sistem berikut XML Integration (XMI). Standar UML dikelola oleh Object Management Group (OMG) (Waruwu dan Nasution, 2018).

1. Diagram Use case (Use Case Diagram)

   Menyajikan interaksi antara use case dan aktor. Actor dapat berupa orang, peralatan, atau sistem lain yang berinteraksi dengan sistem yang sedang di angun. Use case menggambarkan fungsionalitas sistem atau persyaratanpersyaratan yang harus dipenuhi sistem dari pandangan pemakai atau pengguna.

2. Diagram Aktivitas (Activity Diagram).

   Menjelaskan aliran fungsi sistem. Digunakan untuk menggambarkan aliran peristiwa dalam use case. Aktivitas pada gambar disajikan dalam bentuk persegi dengan sudut tidak lancip, yang berisi langkah-langkah yang terjadi dalam alur kerja. Status awal mewakili awal alur kerja, status akhir mewakili akhir grafik, dan titik keputusan diwakili oleh berlian. Tidak perlu membuat diagram aktivitas untuk setiap alur kerja, tetapi sangat berguna untuk alur kerja yang kompleks dan ekstensif (Sholiq, 2006)

3. Diagram Sekuensial (Sequence Diagram)

   Digunakan untuk menunjukkan aliran fungsionalitas dalam use case (Sholiq, 2006).

4. Diagram Kelas (Class Diagram)

   Menunjukkan interaksi antar kelas dalam sistem. Kelas berisi informasi dan perilaku (behaviour) yang berhubungan dengan informasi tersebut. Kelas dalam diagram kelas dibuat untuk setiap jenis objek dalam diagram urutan

atau diagram kolaborasi. Pemrogram menggunakan diagram ini untuk mengembangkan kelas. Beberapa kotak alat (seperti mawar rasional) menghasilkan struktur kode sumber untuk kelas, dan kemudian pemrogram menggunakan bahasa pemrograman yang dipilih saat pengkodean untuk memperbaikinya. Analis menggunakan diagram ini untuk menunjukkan detail sistem, sedangkan arsitek sistem menggunakan diagram ini untuk melihat desain sistem (Sholiq, 2006).

2.11 Hypertext Pre Processor (PHP)

PHP adalah bahasa scripting dengan tujuan umum open source yang digunakan dan sangat sesuai untuk pengembangan web dan dapat disematkan ke dalam HTML. Antara PHP dan Javascript yang membedakannya adalah PHP dari sesuatu seperti Javascript sisi client adalah kode dieksekusi di server, menghasilkan HTML yang kemudian dikirim ke client. Client akan menerima hasil menjalankan script itu, namun tidak akan tahu apa kode dasarnya. Anda bahkan dapat mengkonfigurasi server web anda untuk memproses semua file HTML.

2.12 Penelitian Terlebih Dahulu

Tabel 2.11 menyajikan ringkasan penelitian terlebih dahulu yang relevan dengan topik penelitian ini. Kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk mengeditifikasi pendekatan, metode, serta hasil yang dicapai penelitian sebelumnya. Melalui pemaraparan ini, diharapakan dapat diporoleh gambaran mengenai pengembangan penelitian terkait, sekaligus menjadi dasar dalam menentukan posisi dam kebaruan (novelty) penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 5 Penelitian Terdahulu

No.	Judul dan Penelitian	Pembahasan	Metode	Kelebihan dan kekurangan
1.	Perbandingan Model *CONVOLUTIONAL AUTOENCODER* Dan *VARIATIONAL AUTOENCODER* Untuk Mendeteksi Dini Penyakit Kelapa Sawit yang terinfeksi Ganoederma menggunakan Citra Penginderaan Jauh (Gloryant & Nattanael Misssionday, 2025).	Penelitian ini membahas untuk mengembangkan dan menerapkan algoritma atau arsitektur AE guna mendeteksi infeksi Ganoderma secara dini pada pohon kelapa sawit dengan memanfaatkan citra yang diambil menggunakan UAV.	Metode Deep Learning (Unsupervised Learning)	Kelebihan: monitoring secara real-time dan skalabilitas tinggi. Kekurangan: Alat sangat bergantung pada pada kualitas hardware dan dataset kurang, Peforma alat bisa tidak stabil.

2.	Deteksi Pohon Kelapa Sawit dengan Pendekatan Deep Learning pada citra Multispectral di Indonesia (Prasvita, Desta Sandya, Mayanda Mega Santoni, and Noor Falih, 2024).	Penelitian ini membahas untuk memanfaatkan data citra yang memiliki beberapa spektrum gelombang, seperti merah (Red), hijau (Green),biru (Blue), dan Near Infrared (NIR), guna meningkatkan akurasi dalam mengenali objek vegetasi.	Metode Deep Leaarning	Kelebihan : pemanfaatan teknologi Deep Learning yang mampu mengekstraksi fitur secara otomatis dari citra multispektral, sehingga proses deteksi pohon kelapa sawit dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional Kekurangan : Akurasi deteksi pohon kelapa sawit sangat bergantung pada kualitas dan resolusi citra multispektral yang digunakan, sehingga

				gangguan seperti awan,bayangan,atau perbedaan kondisi pencahayaan dapat menurunkan performa model.
3.	Perancangan sistem identifikasi penyakit pada daun kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) dengan algoritma deep learning convolutional neural networks (Satia, Gusti Ashari Wira, Erick	Penelitian ini membahas tentang pengembangan sebuah sistem berbasis Kecerdasan buatan yang dirancang untuk mengenali dan	Metode Convolutional Neural Networks (CNN).	Kelebihan : mampu mengekstraksi fitur citra secara otomatis tanpa memerlukan perancangan fitur secara manual. Kekurangan: Kinerja model

	Firmansyah, and Arif Umami, 2022).	mengidentifikasi penyakit pada daun kelapa sawit secara otomatis.		CNN sangat bergantung pada kualitas dan jumlah dataset citra yang digunakan dalam proses pelatihan.
4.	Penerapan Metode Forward Chaining Pada Sistem Pakar Identifikasi Penyakit Tanaman Kelapa Sawit (Marcelina, Dona, Evi Yulianti, and Zaid Romegar Mair,2022).	Penelitian ini Membahas tentang pengembangan sebuah sistem pakar yang dirancang untuk membantu proses identifikasi penyakit pada tanaman kelapa sawit secara otomatis berdasarkan gejala-gejala yang diamati.	Metode Forward Chaining.	Kelebihan: menelusuri fakta atau gejala yang dimasukkan pengguna hingga menghasilkan kesimpulan diagnosis secara logis, sehingga alur pengambilan keputusan dapat dijelaskan secara transparan. Kekurangan : Apabila terdapat

				gejala atau kombinasi kondisi yang belum dimodelkan dalam aturan, maka sistem tidak dapat memberikan diagnosis yang Akurat.

5.	Penerapan Teorema Bayes Untuk Mendiagnosa Hama dan Penyakit Pada Tanaman Kelapa Sawit (Handayani, Rika, and A.Sidiq Purnomo,2024).	Penelitian ini membahas tentang pengembangan sistem berbasis metode probabilistik untuk membantu proses diagnosis hama dan penyakit pada tanaman kelapa sawit.	Metode Teoreama Bayes.	Kelebihan: mampu menangani ketidakpastian dalam proses diagnosis hama dan penyakit tanaman. Kekurangan: kurasi hasil diagnosis sangat bergantung pada nilai probabilitas.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah menggunakan metode rekayasa (engineering research) yang bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kesehatan kelapa sawit berbasis *Internet of Things (IoT)*. Menurut (Hwang, kong and Park, 2024) pengembangan sistem komputasi fisik memerlukan integrasi antara pemetaan perangkat keras dan logika perangkat lunak yang sistematis untuk menciptakan solusi pendidikan maupun praktis yang efektif. Sistem ini menggunakan sensor multispectral untuk mengambil data spektrum daun kelapa sawit, kemudian data tersebut dianalisis menggunakan metode *Convolutional Neural Network (CNN)* Untuk mendeteksi penyakit tanaman secara otomatis.

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah eksperimen dan pengembangan sistem, yaitu dengan merancang perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software), kemudian melakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibuat.

3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian

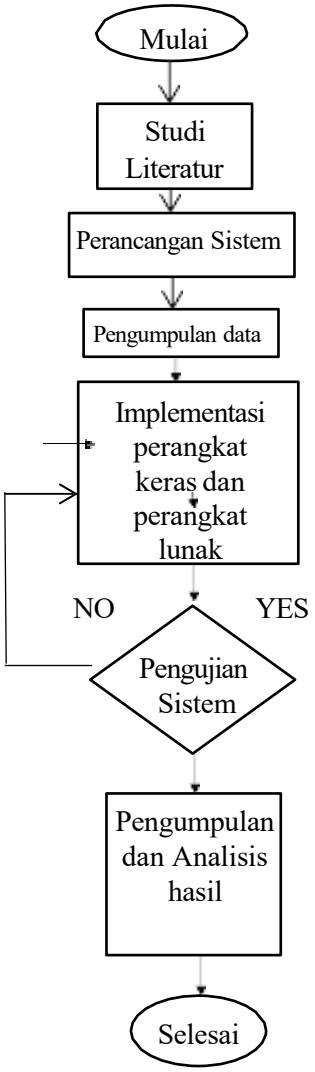
Penelitian dan pengembangan sistem deteksi penyakit kelapa sawit berbasis internet of things ini dilaksanakan di Parsombaan, Kec. Lubuk Barumun, Kabupaten Padang Lawas, Sumatera Utara 22763. Lokasi penelitian ini dipilih karena memiliki tanaman kelapa sawit yang memiliki objek pengamatan yang dapat dijadikan objek untuk mendeteksi kondisi kesehatan tanaman.mencangkup seluruh tahapan mulai dari pengajuan judul hingga pelaksanaan sidang sarjana.

Pembagian waktu ini disusun agar proses integrasi perangkat keras (sensor multispectral) dan perangkat lunak (Phyton) dapat berjalan secara selaras dan terukur.

3.3 Diagram Tahapan Penelitian

Untuk memastikan proses Perancangan Sistem Deteksi Penyakit Kelapa Sawit penelitian ini mengikuti tahapan pengembangan yang sistematis.

Adapun tahapan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat kita liat pada Gambar 3.2



Gambar 3.1 Diagram proses penelitian

Proses penelitian ini dirancang secara terstruktur untuk mengintegrasikan aspek perangkat keras dan perangkat lunak secara berkelanjutan. Tahapan penelitian mengikuti alur kerja yang dimulai dari studi awal hingga analisis akhir, sebagaimana dijelaskan dibawah ini :

1. Studi literatur

Tahap studi literatur merupakan langkah awal yang dilakukan untuk mengumpulkan berbagai referensi ilmiah yang relevan dengan penelitian. Sumber referensi dapat berupa jurnal nasional maupun internasional, buku, prosiding, serta dokumentasi teknis yang berkaitan dengan teknologi Internet of Things (IoT), sensor multispectral, serta metode Convolutional Neural Network (CNN). Fungsi utama dari tahap ini adalah untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai konsep, metode, serta perkembangan teknologi terkini yang akan digunakan dalam penelitian. Selain itu, studi literatur juga membantu peneliti dalam mengidentifikasi celah penelitian (research gap) sehingga sistem yang dirancang memiliki nilai kebaruan dan kontribusi ilmiah.

2. Perancangan Sistem

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kondisi nyata di lapangan, khususnya dalam proses monitoring kesehatan tanaman kelapa sawit. Permasalahan yang umum terjadi antara lain keterlambatan dalam mendeteksi penyakit, ketergantungan pada pengamatan manual, serta kurangnya sistem monitoring berbasis teknologi yang dapat memberikan informasi secara real-time. Fungsi dari tahap ini adalah untuk merumuskan permasalahan secara jelas dan terarah sehingga dapat ditentukan tujuan penelitian yang spesifik, yaitu merancang sistem otomatis yang mampu mendeteksi penyakit tanaman secara

cepat dan akurat menggunakan teknologi IoT dan CNN.

3. Pengumpulan data

Pada tahap ini pengumpulan data dilakukan dengan melakukan observasi langsung pada tanaman kelapa sawit dilokasi penelitian. Data yang dikumpulkan berupa kondisi daun tanaman kelapa sawit yang sehat maupun yang mengalami gejala penyakit.

4. Implementasi perangkat keras dan perangakat lunak

Tahap implementasi IoT dilakukan dengan mengintegrasikan sistem sensor dan mikrokontroler dengan jaringan internet sehingga data dapat dikirim dan dipantau secara real-time.

Pada tahap ini, data dari sensor akan dikirimkan oleh ESP32 ke server atau cloud menggunakan protokol komunikasi tertentu. Selanjutnya, data tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk dashboard berbasis web atau aplikasi.

Fungsi dari tahap ini adalah memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanaman secara jarak jauh serta mendapatkan informasi secara cepat dan efisien.

5. Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian meliputi:

- Pengujian akurasi model CNN dalam mendeteksi penyakit
- Pengujian kinerja sensor dalam membaca data
- Pengujian sistem IoT dalam mengirim dan menampilkan data

Fungsi dari tahap ini adalah memastikan bahwa sistem yang telah dirancang dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan dan memenuhi kebutuhan pengguna.

6. Pengumpulan dan analisis data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan untuk membangun,melatih,dan menguji sistem monitoring Kesehatan kelapa sawit yang berbasis iot yang menggunakan metode CNN.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi sistem dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

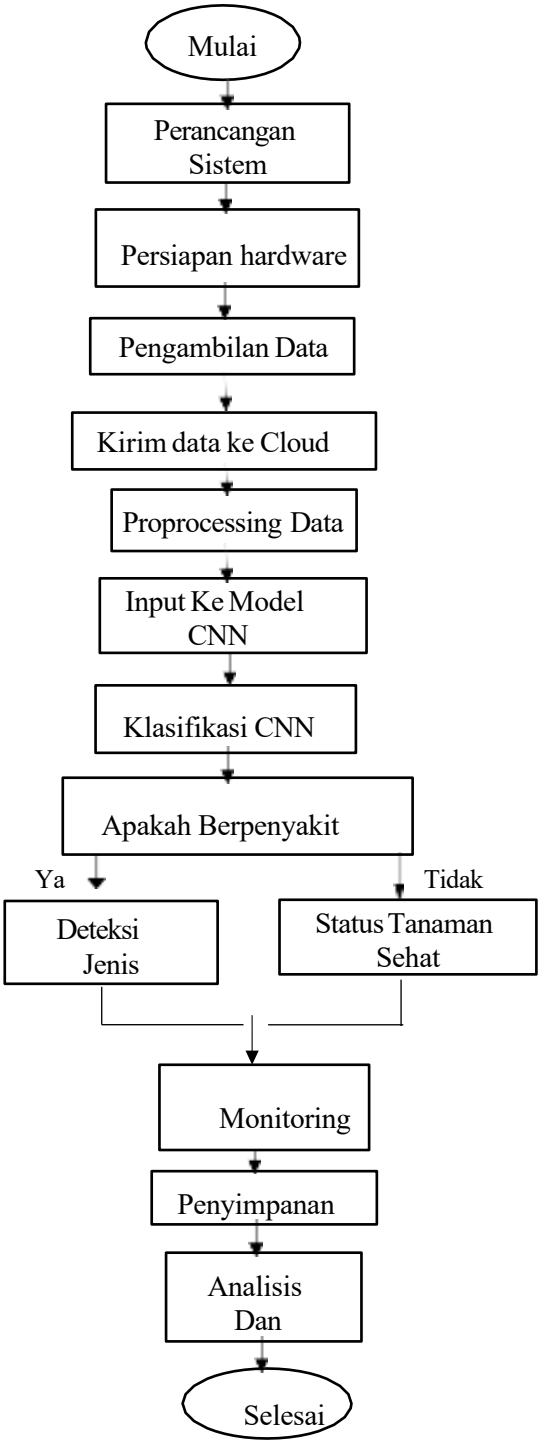
Fungsi dari tahap ini adalah untuk mengevaluasi performa sistem, mengidentifikasi kekurangan, serta menentukan apakah sistem sudah layak digunakan atau masih memerlukan perbaikan.

7. Tahap Selesai

Tahap selesai menandai berakhirnya seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan secara sistematis dari awal hingga akhir.

3.4 Arsitektur Perancangan Sistem

Pada Arsitektur Perancangan Sistem menunjukkan sebuah sistem monitoring yang efektif dalam mendeteksi kondisi tertentu(penyakit) serta mampu memberikan peringatan dini melalui notifikasi,sehingga membantu pengguna dalam mengambil Tindakan yang cepat dan tepat.



Gambar 3. 2 Diagram Rancangan Sistem

Secara garis besar, sistem ini dirancang untuk mendeteksi penyakit pada tanaman secara otomatis mulai dari pengambilan data di lapangan hingga evaluasi hasil. Berikut adalah detail tiap tahapannya :

1) Mulai (Start):Titik awal dari seluruh proses sistem.
2) Perancangan Sistem:Tahap perencanaan struktur sistem, mulai dari menentukan arsitektur yang akan dig alur integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak.
3) Persiapan Hardware:Menyiapkan perangkat fisik yang dibutuhkan, seperti kamera (sensor visi), mikrokontroler (misalnya Raspberry Pi atau Arduino), dan perangkat konektivitas internet.
4) Pengambilan Data:Proses menangkap gambar tanaman di lapangan menggunakan kamera. Gambar inilah yang akan menjadi input untuk dianalisis.
5) Kirim Data ke Cloud:Gambar yang telah diambil dikirim ke server awan (Cloud) untuk diproses.
6) Preprocessing Data:penyesuaian gambar sebelum masuk ke model. Kegiatannya meliputi resizing (mengubah ukuran), normalization (penyesuaian warna/kontras), dan penghapusan noise agar model CNN bekerja lebih akurat.
7) Input ke Model CNN:Data gambar yang sudah bersih dimasukkan ke dalam arsitektur Convolutional Neural Network yang telah dilatih sebelumnya.
8) Klasifikasi CNN:Model melakukan ekstraksi fitur dan mengklasifikasikan gambar tersebut ke dalam kategori tertentu (sehat atau jenis penyakit tertentu).

9) Keputusan: Apakah Berpenyakit?
10) Ya: Jika sistem mendeteksi adanya indikasi penyakit.
11) Tidak: Jika tanaman terdeteksi normal.
12) Deteksi Jenis Penyakit: Jika "Ya", sistem akan mengidentifikasi nama atau jenis penyakit spesifik yang menyerang tanaman.
13) Status Tanaman Sehat: Jika "Tidak", sistem akan memberikan label bahwa tanaman dalam kondisi prima.
14) Monitoring:Hasil deteksi ditampilkan pada dashboard atau antarmuka pengguna agar kondisi tanaman dapat dipantau secara langsung oleh petani atau pengelola.
15) Penyimpanan Data:Hasil klasifikasi, waktu pengambilan data, dan gambar disimpan ke dalam basis data (database) sebagai arsip atau riwayat kesehatan tanaman.
16) Analisis dan Evaluasi:untuk meninjau performa sistem.Apakah deteksinya akurat? Data yang terkumpul juga dianalisis untuk melihat tren kesehatan tanaman dalam jangka waktu tertentu.

3.5 Alat Dan Bahan

Dalam proses pembuatan alat ini penulis menggunakan beberapa alat dan bahan. Berikut ini adalah merupakan alat-alat yang digunakan pada proses pembuatan dapat dilihat pada tabel 3.2

1. Alat

Tabel 3. 2 Alat

No	Nama alat	Spesifikasi	Jumlah
1	Laptop	Acer inspire A514 Intel Core I5	1
2	Solder listrik	40W Merek Deko	1
3	Multimeter	Analog/Digital	1
4	Obeng	Plus/Minus	1
5	Tang potong	-	1
6	Timah	-	secukupnya

2. Bahan

Dalam proses Pembuatan bahan ini penulis menggunakan beberapa bahan berikut ini adalah meupakan bahannya yang digunakan pada proses pembuatan dapat dilihat pada tabel 3.3

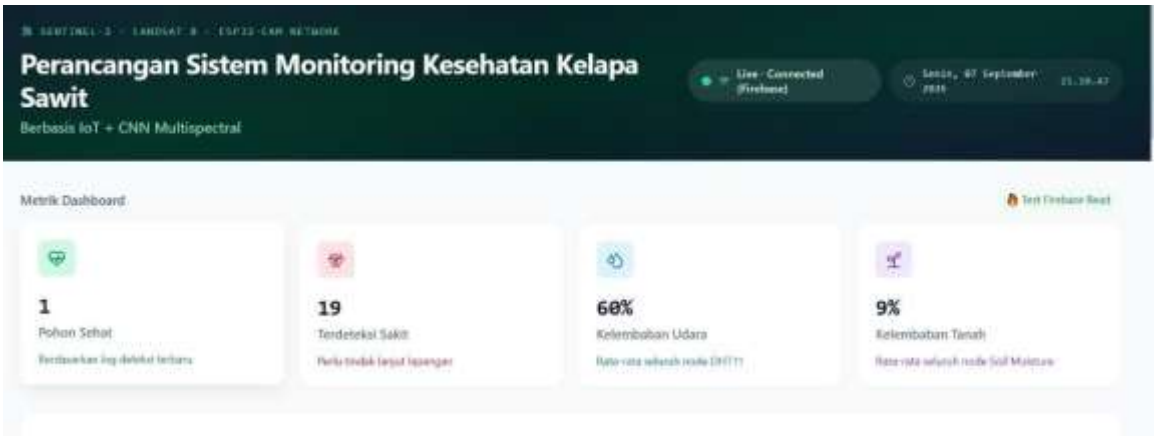
Tabel 3. 3 Bahan/Komponen

No	Nama Bahan	Jumlah
1	ESP 32 Cam	1
2	Soil Moisture	1
3	DHT 11	1
4	RTC	1
5	Buzzer	1
6	Breadbord	1
7	LCD 16X2	1
8	Kabel Jumper	Secukupnya

3.6 Dashboard Rancangan Sistem

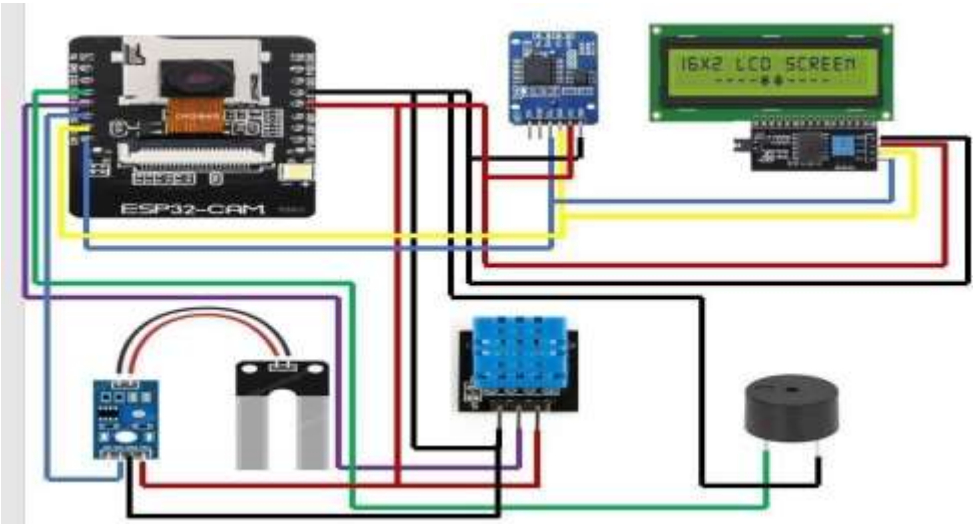
Dari Gambar Dibawah 3.3 menunjukkan dashboard pemantauan kesehatan kelapa sawit berbasis IoT dan CNN multispektral. Dashboard ini menampilkan jumlah pohon sehat, pohon yang perlu peringatan, pohon yang terdeteksi sakit, serta informasi kelembaban udara dan kelembaban tanah.

Gambar 3. 3 Dashboard rancangan sistem



3.7 Rangkain Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini bertujuan untuk membangun suatu sistem monitoring yang mampu mendeteksi penyakit pada tanaman kelapa sawit secara otomatis dan real-time. Adapun Gambar rancangannya seperti gambar dibawah 3.3



Gambar 3. 4 Wring Alat

Berdasarkan perancangan sistem pada Gambar 3.1 integrasi perangkat keras dilakukan untuk menghubungkan seluruh komponen input dan output di mana setiap komponen memiliki fungsi spesifik dan saling terhubung melalui jalur kabel untuk membentuk suatu sistem yang mampu membaca kondisi lingkungan, menampilkan informasi, memberikan peringatan, serta mendukung analisis visual berbasis kamera.

1) ESP32-CAM berfungsi sebagai pusat kendali (controller) yang mengatur seluruh proses dalam sistem, mulai dari menerima data dari sensor, mengolah data tersebut, hingga mengirimkan hasilnya ke output seperti LCD atau buzzer, serta mengambil gambar menggunakan kamera bawaan (OV2640), sehingga peran ESP32-CAM sangat krusial karena menjadi otak dari keseluruhan sistem dan memungkinkan implementasi konsep Internet of Things (IoT).
2) Sensor soil moisture yang terdiri dari probe dan modul kontrol, di mana probe ditancapkan ke tanah untuk mendeteksi kadar air melalui perubahan konduktivitas listrik, kemudian sinyal tersebut dikirim ke modul dan diteruskan ke ESP32-CAM melalui jalur kabel sinyal, sehingga sistem dapat mengetahui apakah kondisi tanah dalam keadaan kering, lembab, atau basah, yang sangat penting dalam menentukan kebutuhan penyiraman tanaman.
3) sensor DHT11 yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitar tanaman, di mana sensor ini memberikan data digital yang langsung dibaca oleh ESP32-CAM melalui satu jalur data, sehingga informasi lingkungan seperti suhu panas atau kelembaban tinggi dapat dianalisis sebagai faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman maupun potensi

timbulnya penyakit.

4) LCD 16x2 yang sudah dilengkapi modul I2C, yang berfungsi sebagai media output untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor secara langsung kepada pengguna, seperti nilai suhu, kelembaban udara, kelembaban tanah, maupun status kondisi tanaman, dan penggunaan modul I2C pada LCD ini sangat penting karena mengurangi jumlah kabel yang dibutuhkan dengan hanya menggunakan dua jalur komunikasi data yaitu SDA dan SCL, sehingga lebih efisien dalam penggunaan pin ESP32-CAM.
5) Modul RTC (Real Time Clock) yang berfungsi untuk menyediakan informasi waktu secara real-time seperti jam dan tanggal, di mana modul ini tetap dapat bekerja meskipun sistem utama dimatikan karena memiliki baterai cadangan, sehingga setiap data yang diambil oleh sistem dapat diberi penanda waktu (timestamp) yang berguna untuk analisis data jangka panjang dan pencatatan historis kondisi tanaman.
6) Buzzer yang berfungsi sebagai output berupa suara yang digunakan sebagai sistem peringatan dini, di mana buzzer akan diaktifkan oleh ESP32-CAM ketika kondisi tertentu terdeteksi, misalnya kelembaban tanah terlalu rendah atau suhu lingkungan terlalu tinggi, sehingga pengguna dapat segera mengetahui adanya kondisi abnormal tanpa harus selalu memantau LCD. Kabel merah berfungsi sebagai VCC (tegangan) untuk menyuplai daya ke seluruh komponen, kabel hitam sebagai GND (ground) untuk menstabilkan rangkaian, sedangkan kabel berwarna lain seperti kuning, biru, hijau, dan ungu digunakan sebagai jalur sinyal data, yang menghubungkan sensor dan modul ke pin GPIO ESP32-CAM, dan khusus untuk LCD serta RTC, keduanya berbagi jalur komunikasi I2C yang sama (SDA dan SCL) sehingga memungkinkan beberapa perangkat

berkomunikasi dalam satu jalur yang efisien.

3.8 Tahapan Ekstraksi menggunakan sensor multispectral

Sebelum memasuki tahapan ekstraksi menggunakan sensor multispektral, penting dipahami bahwa proses ini merupakan langkah kunci untuk mengubah citra mentah dari sensor menjadi informasi yang dapat diolah dan diinterpretasikan. Dalam konteks penelitian ini, tahapan ekstraksi dirancang untuk menangkap karakteristik spektral, spasial, dan tekstural objek yang terepresentasi pada berbagai band citra multispektral, sehingga informasi yang dihasilkan nantinya dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut, seperti klasifikasi atau deteksi menggunakan metode CNN. Berikut adalah uraian rinci tahapan ekstraksi yang dilakukan dalam penelitian ini.

1. Akuisisi dan Penyiapan Citra Multispectral

Tahap pertama adalah mengumpulkan data citra dari sensor multispektral yang digunakan, misalnya satelit, drone, atau kamera multispektral khusus. Citra yang diperoleh biasanya terdiri dari beberapa band spektral, seperti merah, hijau, biru, dan inframerah dekat, yang masing-masing merekam respons permukaan objek pada panjang gelombang tertentu. Setelah data diperoleh, citra diseleksi berdasarkan kualitas (tidak terlalu banyak awan, blur, atau noise) dan dipotong pada area studi yang sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Selanjutnya dilakukan koreksi radiometrik dan atmosferik untuk mengubah nilai digital mentah dari sensor menjadi nilai reflektansi yang lebih representatif terhadap kondisi objek di permukaan. Koreksi ini penting agar nilai antar citra yang diambil pada waktu berbeda tetap bisa dibandingkan. Selain itu, seluruh band citra harus diregistrasi secara geometrik, artinya diselaraskan sehingga setiap

piksel di berbagai band benar-benar mengacu pada lokasi yang sama di permukaan. Dengan demikian, ketika satu piksel dianalisis, kita yakin bahwa vektor nilainya memang berasal dari objek fisik yang sama.

2. Ekstraksi Nilai Spectral dan Indeks

Setelah citra siap, tahap ekstraksi dimulai dari pengambilan nilai spektral pada setiap band. Untuk setiap piksel atau area contoh (region of interest), peneliti mencatat nilai reflektansi di semua band yang tersedia. Kumpulan nilai ini membentuk tanda tangan spektral (spectral signature) suatu objek, misalnya tanaman sehat, tanah kosong, air, atau objek lain yang ingin dipelajari. Nilai-nilai tersebut biasanya disimpan dalam bentuk tabel atau matriks sehingga dapat diolah lebih lanjut secara statistik maupun dengan algoritma pembelajaran mesin.

Selain nilai band mentah, peneliti juga menghitung berbagai indeks spektral yang dirancang untuk menonjolkan karakteristik tertentu objek. Contohnya, untuk vegetasi sering digunakan NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) yang memanfaatkan kombinasi band merah dan inframerah dekat untuk menggambarkan tingkat kehijauan dan kesehatan tanaman. Indeks lain, seperti NDWI untuk kandungan air atau GNDVI untuk sensitivitas terhadap kandungan hara, juga dapat dihitung sesuai kebutuhan. Indeks-indeks ini merupakan fitur turunan yang biasanya lebih mudah diinterpretasi dan sering lebih informatif dibanding hanya mengandalkan band individu.

3. Transformasi dan Reduksi Dimensi

Dalam beberapa kasus, jumlah band multispektral yang digunakan cukup banyak dan mengandung informasi yang saling tumpang tindih. Untuk itu, dilakukan transformasi spektral seperti Principal Component Analysis (PCA)

guna mereduksi dimensi data. Melalui PCA, sekumpulan band diubah menjadi beberapa komponen utama yang tetap mempertahankan sebagian besar variasi informasi. Hasilnya, jumlah fitur yang perlu diolah menjadi lebih sedikit, tetapi representasinya tetap kaya dan efisien.

Transformasi semacam ini tidak selalu wajib, namun sangat bermanfaat ketika data memiliki dimensi tinggi dan proses komputasi menjadi berat. Dengan mereduksi dimensi, model deteksi atau klasifikasi di tahap berikutnya biasanya menjadi lebih cepat dan kadang lebih stabil, karena redundansi antar band berkurang.

4. Ekstraksi Fitur Spasial dan Tekstur

Selain informasi spektral, citra multispektral juga mengandung informasi spasial, yaitu pola susunan piksel di ruang. Untuk menangkap informasi ini, dilakukan ekstraksi fitur spasial dan tekstur. Salah satu caranya adalah menggunakan metode tekstur seperti Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM) untuk menghitung ciri-ciri seperti kontras, homogenitas, dan entropi pada jendela tertentu di citra. Nilai tekstur tersebut dapat membantu membedakan objek yang secara spektral mirip tetapi pola permukaan atau kerapatan teksturnya berbeda.

Sering kali citra juga dibagi menjadi potongan kecil (patch) berukuran tertentu, misalnya 16×16 atau 32×32 piksel. Setiap patch kemudian direpresentasikan oleh sekumpulan fitur gabungan, seperti rata-rata nilai band, indeks spektral, dan ciri tekstur. Representasi patch ini sangat berguna jika nantinya data akan dimasukkan ke model berbasis CNN, karena CNN

bekerja dengan baik pada potongan citra yang mempertahankan informasi spasial.

5. Penyusunan Vektor Siap Pakai

Setelah semua fitur spektral, indeks, dan tekstur dihasilkan, langkah berikutnya adalah menyusunnya menjadi vektor fitur yang terstruktur. Untuk setiap piksel atau patch, dibuat satu vektor yang berisi nilai-nilai band multispektral, nilai indeks spektral yang telah dihitung, komponen PCA (jika digunakan), serta fitur tekstur. Vektor inilah yang menjadi representasi numerik dari objek atau area yang diamati.

Pada tahap ini, proses ekstraksi dapat dikatakan selesai karena semua informasi yang relevan dari citra multispektral telah diambil dan diubah ke bentuk data yang siap dipakai. Vektor fitur yang sudah tersusun kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan analisis, seperti klasifikasi, segmentasi, atau deteksi objek menggunakan metode machine learning maupun CNN. Jika penelitian lanjut ke CNN, fitur spektral biasanya digunakan sebagai channel dalam citra input, sedangkan fitur turunan seperti indeks atau tekstur dapat digabungkan sebagai channel tambahan atau sebagai fitur pendukung di tahap lain.

3.9 Tahap Klasifikasi Menggunakan Convolutional Neural Network(CNN)

Sebelum memasuki tahapan klasifikasi menggunakan Convolutional Neural Network (CNN), penting dipahami bahwa CNN merupakan salah satu metode deep learning yang sangat efektif untuk mengenali pola dan fitur pada data citra, termasuk citra multispektral. Dalam penelitian ini, klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan arsitektur CNN untuk mengubah citra yang telah diekstraksi menjadi representasi fitur yang kemudian dipetakan ke kelas-kelas objek yang

diinginkan. Berikut ini dijelaskan tahapan klasifikasi yang dilakukan menggunakan Convolutional Neural Network secara sistematis.

1. Pengumpulan dan Persiapan Dataset

Tahap awal klasifikasi dengan CNN adalah mengumpulkan citra yang mewakili seluruh kelas objek yang ingin diklasifikasikan, misalnya kelas tanaman sehat, tanaman sakit, lahan terbangun, air, dan sebagainya. Setiap citra harus sudah diberi label kelas sehingga model dapat belajar memetakan pola visual pada citra ke kelas yang benar. Kemudian dataset dibagi menjadi data pelatihan (train), validasi (validation), dan uji (test) agar dapat mengevaluasi performa model secara objektif.

2. Pra-Proses Data Citra

Setelah dataset siap, citra diproses terlebih dahulu agar sesuai dengan kebutuhan arsitektur CNN. Proses ini meliputi mengubah ukuran citra menjadi dimensi yang seragam (misalnya 64×64 atau 224×224 piksel), menormalisasi nilai piksel ke rentang tertentu (misal 0–1), dan mengubah citra berwarna atau multispektral menjadi format yang dapat dibaca sebagai tensor (misal tensor $H \times W \times C$, dengan C adalah jumlah band). Jika data terbatas, dapat dilakukan augmentasi seperti rotasi, flip, pergeseran, atau perubahan kontras untuk memperbanyak variasi sampel tanpa mengubah makna visualnya.

3. Rancangan Arsitektur CNN

Tahap berikutnya adalah merancang arsitektur CNN yang akan digunakan untuk klasifikasi. Arsitektur tipikal terdiri dari beberapa lapisan konvolusi (convolutional layer) yang bertugas mengekstrak fitur lokal seperti tepi, tekstur, dan pola lain dari citra, diikuti lapisan pooling (misalnya max pooling) untuk

mereduksi dimensi dan menjaga invariansi terhadap pergeseran kecil. Setelah beberapa blok konvolusi–pooling, lapisan-lapisan tersebut dihubungkan ke lapisan fully connected (dense) yang kemudian diakhiri dengan lapisan output berupa softmax untuk menghasilkan probabilitas kelas. Untuk mencegah overfitting, sering ditambahkan dropout atau regularisasi lain pada lapisan tersembunyi.

4. Pelatihan Model(Training)

Setelah arsitektur ditentukan, model di-compile dengan memilih fungsi loss (misalnya categorical cross-entropy untuk klasifikasi multikelas) dan optimizer (misalnya Adam atau SGD). Proses pelatihan dilakukan dengan melewatkan data pelatihan ke model secara iteratif (epoch demi epoch), di mana model memperbarui bobot dan bias menggunakan algoritma backpropagation berdasarkan kesalahan antara prediksi dan label sebenarnya. Selama pelatihan, performa model juga dipantau pada data validasi untuk memastikan model tidak overfitting terhadap data pelatihan saja.

5. Evaluasi dan Validasi Hasil Klasifikasi

Setelah model dilatih, tahap berikutnya adalah menguji kinerja model pada data uji yang belum pernah dilihat selama pelatihan. Evaluasi dilakukan dengan menghitung metrik seperti akurasi, precision, recall, F1-score, dan confusion matrix untuk menilai seberapa baik model mampu membedakan antar kelas. Selain itu, hasil klasifikasi dapat divisualisasikan pada beberapa contoh citra pilihan untuk melihat apakah keputusan kelas yang diberikan oleh model sesuai dengan interpretasi visual atau data lapangan.

6. Penerapan Model Untuk Klasifikasi Baru

Setelah model dinilai memadai, tahap akhir adalah menerapkan model tersebut untuk mengklasifikasikan data baru. Citra atau patch citra baru diolah dengan proses pra-proses yang sama seperti data pelatihan, kemudian dimasukkan ke model CNN untuk menghasilkan prediksi kelas. Hasil klasifikasi ini dapat langsung digunakan sebagai peta kelas (misalnya peta penutupan lahan, kesehatan tanaman, atau kategori objek) yang siap untuk analisis lebih lanjut atau integrasi ke sistem aplikasi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan tahapan penerjemahan hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) , perangkat lunak (*software*), dan pemodelan kecerdasan buatan ke dalam bentuk fisik dan program yang siap beroperasi secara terpadu.

4.1.1 Implementasi Perangkat Keras (Hardware)

Implementasi perangkat keras merupakan tahapan realisasi dan perakitan fisik dari rancangan sistem yang telah dipetakan pada Bab III ke dalam bentuk modul *edge node* pemantau kesehatan tanaman kelapa sawit. Seluruh modul elektronik dirangkai dan dihubungkan secara terpadu dengan mikrokontroler ESP32-CAM sebagai unit pemrosesan utama (*main controller*) sekaligus modul penangkap citra visual melalui kamera *on-board* OV2640. Modul ini bertanggung jawab mengeksekusi logika program, mengakuisisi data dari seluruh sensor lingkungan, mengelola penandaan waktu, memicu aktuator alarm lokal, serta mentransmisikan data ke server secara berkala.

Untuk memantau kondisi mikroklimat di sekitar tanaman kelapa sawit, sistem mengintegrasikan sensor suhu dan kelembaban udara DHT11 serta sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*). Sensor DHT11 diposisikan pada area luar wadah pelindung alat agar dapat membaca perubahan temperatur dan tingkat kelembaban relatif udara perkebunan secara akurat melalui antarmuka sinyal digital. Sementara itu, probe sensor kelembaban tanah ditancapkan langsung ke media tanah di sekitar zona perakaran pohon kelapa sawit untuk mengukur

konduktivitas kadar air tanah. Sinyal analog yang dihasilkan oleh probe tersebut kemudian dikonversi menjadi data persentase kelembaban tanah melalui pin *Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada ESP32-CAM.

Efisiensi jalur komunikasi data dan keterbatasan jumlah pin GPIO pada mikrokontroler diatasi dengan memanfaatkan antarmuka bus *Inter-Integrated Circuit* (I2C) secara paralel untuk modul penampil LCD 16×2 dan modul *Real Time Clock* (RTC). Modul RTC DS3231 berfungsi menyediakan penanda waktu nyata (*timestamp*) yang presisi dan kontinu bagi setiap siklus pembacaan data sensor maupun perekaman gambar tanpa terpengaruh kondisi daya utama perangkat. Di sisi lain, modul display LCD 16×2 yang telah dilengkapi *backpack I2C converter* digunakan sebagai media antarmuka lokal di lapangan guna menampilkan parameter pengukuran suhu, kelembaban, serta status operasional alat secara langsung kepada pengguna.

Seluruh rangkaian perangkat keras ini ditopang oleh sistem distribusi daya dengan jalur tegangan positif (VCC) dan *common ground* (GND) yang terhubung secara paralel dan stabil, kemudian dikemas ke dalam sebuah wadah pelindung (*enclosure box*) yang kokoh agar terlindung dari paparan debu, percikan air, serta perubahan cuaca di area perkebunan.



Gambar 4 1 Hasil Rangkaian Alat

4.1.2 Implementasi Perangkat Lunak dan Antarmuka (Dashboard Web)

Implementasi perangkat lunak merupakan tahapan perancangan dan penerapan sistem pemrosesan data, manajemen basis data berbasis komputasi awan (*cloud*), serta antarmuka visual berbasis web yang berfungsi menerima, mengolah, dan menampilkan seluruh informasi kondisi tanaman kelapa sawit secara terintegrasi. Sistem perangkat lunak ini memanfaatkan platform Firebase sebagai infrastruktur *backend-as-a-service* untuk menangani sinkronisasi data secara *real-time*, penyimpanan objek citra, serta integrasi antarmuka pengguna berbasis web. Penggunaan Firebase memungkinkan pertukaran data telemetri antara perangkat *hardware edge node* berbasis ESP32-CAM dengan peladen dan antarmuka *dashboard* berlangsung secara cepat, efisien, dan memiliki latensi yang rendah tanpa memerlukan pengelolaan arsitektur server konvensional yang rumit.

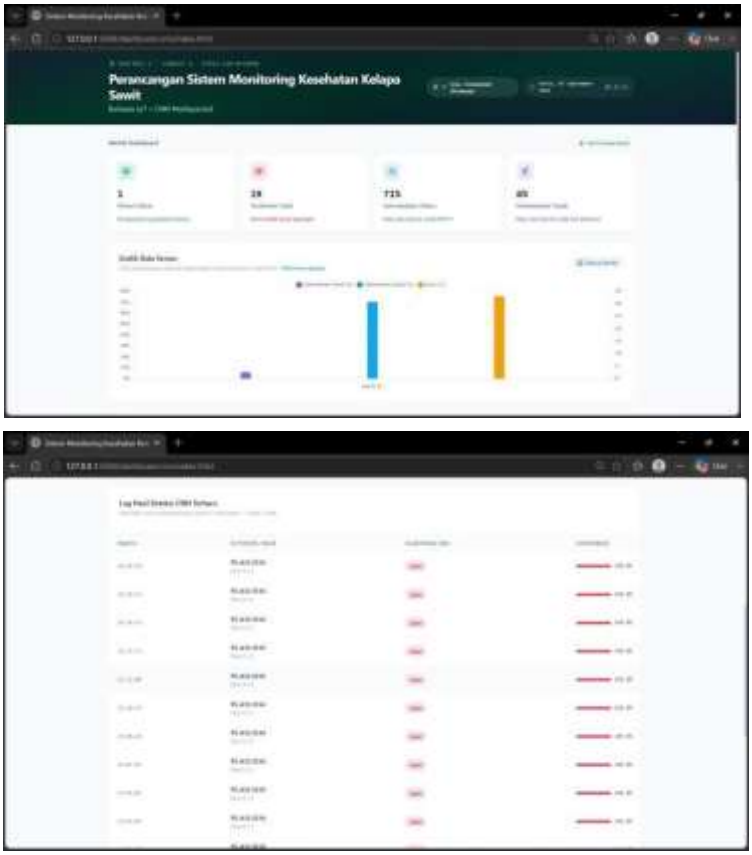
Proses pertukaran data diawali dari komunikasi langsung antara ESP32-CAM dengan peladen Firebase melalui jaringan internet. Setelah mikrokontroler selesai mengakuisisi parameter fisik dari sensor DHT11, sensor kelembaban tanah, dan modul RTC di lapangan, data telemetri yang terdiri atas nilai temperatur, kelembaban udara, persentase kadar air tanah, serta penanda waktu

(*timestamp*) dikemas ke dalam format data JSON lalu diunggah ke Firebase Realtime Database melalui koneksi REST API dengan autentikasi berbasis *database secret* atau *token*. Sementara itu, file citra daun hasil tangkapan modul kamera OV2640 diunggah ke Firebase Storage, di mana URL berkas yang dihasilkan secara otomatis dipetakan dan disimpan pada simpul (*node*) data terkait di basis data untuk diproses lebih lanjut oleh modul klasifikasi.

Pada lapisan visualisasi pengguna, implementasi antarmuka *dashboard web* dirancang secara responsif dan interaktif menggunakan HTML, CSS, JavaScript, serta *Firebase Web SDK* guna menyajikan informasi pemantauan tanaman secara komprehensif. Berkat kapabilitas *listener* pada *Firebase Realtime Database*, setiap perubahan atau penambahan data baru dari sensor di lapangan akan langsung diperbarui (*real-time listener*) pada layar *dashboard* secara otomatis tanpa perlu melakukan muat ulang (*refresh*) halaman web. Tampilan utama *dashboard* menyajikan ringkasan metrik kesehatan tanaman melalui kartu informasi yang memuat jumlah pohon dalam kondisi sehat, pohon berstatus peringatan (*warning*), dan pohon yang terdeteksi sakit, serta indikator persentase kelembaban udara dan kelembaban tanah.

Selain menyajikan indikator visual utama, perangkat lunak juga mengimplementasikan modul pemantauan histori dan manajemen status peringatan secara terstruktur. Seluruh log riwayat pemantauan tersimpan secara runtut berdasarkan penanda waktu (*timestamp*) dari modul RTC, sehingga memudahkan pengelola perkebunan dalam meninjau tren fluktuasi kelembaban lingkungan maupun riwayat penyebaran gejala penyakit pada tanaman kelapa sawit dalam periode tertentu. Sistem juga menerapkan logika evaluasi ambang

batas (*threshold evaluation*), di mana jika terdeteksi kondisi mikroklimat yang kritis atau hasil klasifikasi menunjukkan infeksi penyakit, *dashboard* web akan secara otomatis memicu tanda peringatan visual (*alert badge*) berbasis warna untuk memudahkan pengambilan tindakan agronomis secara cepat dan tepat.



Gambar 4 2 Dashboard Web

4.1.3 Implementasi Model Convolutional Neural Network (CNN)

Implementasi model *Convolut ional Neural Net work* (CNN) merupakan tahapan perancangan, pelatihan, dan integrasi algoritma kecerdasan buatan yang bertugas mendeteksi serta mengklasifikasikan kondisi kesehatan tanaman kelapa sawit secara otomatis berbasis citra. Pemodelan CNN dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan pustaka utama seperti TensorFlow/Keras, OpenCV untuk manipulasi citra digital, serta NumPy untuk

komputasi matriks numerik. Citra daun kelapa sawit yang diperoleh dari lapangan maupun yang telah diunggah ke *cloud storage* terlebih dahulu melewati tahapan pra-proses (*preprocessing*) yang ketat, meliputi penyeragaman dimensi citra (*resizing*) menjadi resolusi 224 x 224 piksel serta normalisasi nilai intensitas piksel dari rentang [0, 255] ke rentang [0, 1] guna mempercepat proses konvergensi saat pelatihan model. Untuk memperkaya variasi sampel dan mencegah terjadinya *overfitting*, teknik augmentasi data seperti rotasi acak, pergeseran lebar/tinggi (*width/height shift*), perbesaran (*zoom*), dan pembalikan horizontal (*horizontal flip*) turut diterapkan pada data latih.

Arsitektur model CNN yang diimplementasikan terdiri atas serangkaian lapisan ekstraksi fitur (*feature extraction layers*) dan lapisan klasifikasi (*classification layers*). Pada bagian ekstraktor fitur, sistem menerapkan beberapa blok lapisan konvolusi (convolutional layer) dengan ukuran kernel filter 3 x 3 yang dipadukan dengan fungsi aktivasi *Rectified Linear Unit* (ReLU). Lapisan konvolusi ini bertugas mengekstraksi representasi visual daun kelapa sawit, mulai dari fitur tingkat rendah seperti tepian lesi, kontur bercak, hingga pola tekstur spektrum warna klorofil yang merepresentasikan kondisi nekrosis atau klorosis pada daun. Setiap blok konvolusi diikuti oleh lapisan Max Pooling dengan ukuran jendela 2 x 2 untuk mereduksi dimensi spasial peta fitur (*feature map*) sekaligus menjaga sifat invariansi terhadap pergeseran posisi objek pada citra.

Setelah melalui tahapan konvolusi dan pooling, peta fitur berdimensi ganda diratakan (*flatten*) menjadi satu vektor fitur linear untuk diteruskan ke bagian *Fully Connected Layer* (lapisan Dense). Pada lapisan tersembunyi ini, model menerapkan teknik regularisasi Dropout dengan rasio 0.5 untuk memutus koneksi

acak antar neuron secara berkala selama pelatihan, sehingga model tidak bergantung pada bobot fitur spesifik dan memiliki kemampuan generalisasi yang tinggi terhadap data baru. Lapisan akhir arsitektur menggunakan Dense layer dengan jumlah simpul keluaran yang disesuaikan terhadap target kelas klasifikasi (seperti kondisi Sehat, Bercak Daun, Stres Nutrisi/Air, dan gejala awal Busuk Pangkal Batang) yang diaktifkan menggunakan fungsi Softmax guna menghasilkan distribusi probabilitas prediksi kelas.



Gambar 4 3 Hasil Implementasi CNN

Proses pelatihan model (*training phase*) dijalankan dengan mengompilasi model menggunakan fungsi kerugian *Categorical Cross-Entropy* serta algoritma pengoptimal Adam (*Adaptive Moment Estimation*) dengan tingkat pembelajaran (*learning rate*) adaptif. Dataset dibagi secara terstruktur ke dalam data pelatihan (*training data*), data validasi (*validation data*), dan data pengujian (*testing data*). Selama iterasi epoch berlangsung, performa model dipantau secara berkala untuk mengevaluasi kurva akurasi dan kerugian (*loss curve*) . Model dengan bobot terbaik (*best weights checkpoint*) yang menunjukkan akurasi validasi optimal dan nilai kerugian terendah disimpan ke dalam format model biner (.h5 atau .tflite). Model inilah yang kemudian diintegrasikan ke dalam alur inferensi komputasi

awan/server untuk memproses citra daun kiriman ESP32-CAM secara otomatis dan memperbarui status kesehatan pohon kelapa sawit pada dashboard web.

4.2 Pengujian Sistem dan Evaluasi

Pengujian sistem dilakukan untuk menguji keandalan integrasi perangkat keras, konektivitas komunikasi awan melalui Firebase, performa model *Convolutional Neural Network* (CNN), serta fungsionalitas antarmuka *dashboard web*.

4.2.1 Pengujian Sensor Lingkungan

Pengujian sensor lingkungan dilakukan untuk mengamati respons pembacaan parameter fisik lahan kelapa sawit oleh node perangkat keras (`esp32_01`) yang menggunakan sensor DHT11 dan *soil moisture*. Data hasil pembacaan lingkungan di lapangan disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor Lingkungan pada Node `esp32_01`

ID Node	Sensor	Parameter Lingkungan	Nilai Terbaca	Rentang Standar Perkebunan	Keterangan Kondisi
esp32_01	DHT11	Suhu Udara	33.9°C	24.0°C – 30.0°C	Suhu Cenderung Tinggi / Panas
esp32_01	DHT11	Kelembaban Udara (RH)	58.4% (~58%)	70.0% – 85.0%	Kelembaban Rendah
esp32_01	Soil Moisture	Kelembaban Tanah	2.0%	40.0% – 70.0%	Kering Ekstrem / Defisit Air

Berdasarkan Tabel 4.1, sensor berhasil mendeteksi mikroklimat lahan perkebunan. Nilai kelembaban tanah terukur pada angka 2% dengan suhu lingkungan 33.9°C, yang mengindikasikan area perakaran pohon sawit mengalami kondisi kering secara signifikan.

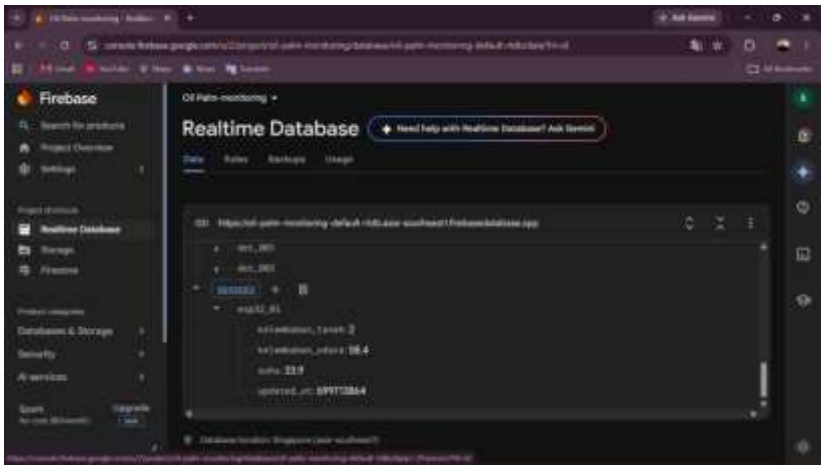
4.2.2 Pengujian Transmisi Data IoT ke Firebase

Pengujian transmisi data dilakukan untuk menguji keandalan komunikasi nirkabel dan sinkronisasi data dari modul ESP32 ke platform *Firebase Realtime Database*. Pengujian dilakukan secara berkala pada node `esp32_01` dengan mengamati keterbaruan data telemetri (*real-time listener*) pada *dashboard*.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Transmisi Data Telemetri ke Firebase

Node Pengirim	Paket Data yang Dikirim	Target Database	Latensi Transmisi	Status Pengiriman	Status Pembaruan di Dashboard
esp32_01	Suhu Udara (33.9°C)	Firebase Realtime DB	~310 ms	Berhasil	Ter-update (Real-time)
esp32_01	Kelembaban Udara (58.4%)	Firebase Realtime DB	~310 ms	Berhasil	Ter-update (Real-time)
esp32_01	Kelembaban Tanah (2.0%)	Firebase Realtime DB	~310 ms	Berhasil	Ter-update (Real-time)
esp32_01	Data Status Klasifikasi Citra	Firebase Realtime DB	~420 ms	Berhasil	Ter-update (Real-time)

Pengujian transmisi menunjukkan bahwa integrasi Firebase berjalan stabil. Setiap kali node `esp32_01` memperbarui data pembacaan, nilai pada kartu metrik maupun grafik *dashboard* terbarui secara otomatis tanpa adanya kegagalan pengiriman paket data (*data loss*).



Gambar 4 4 Data Telemetri ke Firebase

4.2.3 Evaluasi Kinerja Model CNN

Evaluasi kinerja model CNN dilakukan dengan menganalisis hasil klasifikasi citra daun kelapa sawit pada blok pengamatan `Blok A-12` (ID Pohon: `PS-A12-0134`). Hasil inferensi model CNN secara berkala dicatat ke dalam log riwayat deteksi.

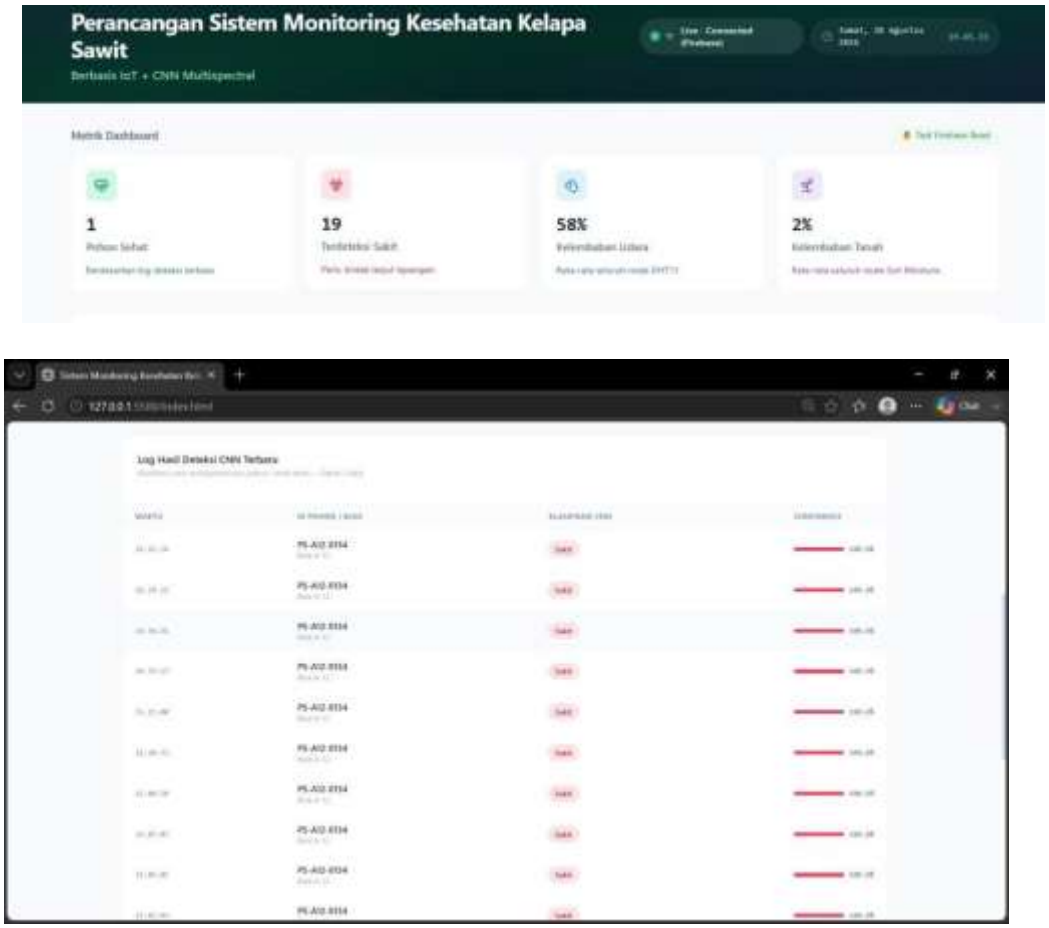
Tabel 4.3 Rekapitulasi Hasil Deteksi Model CNN

Kategori Status	Jumlah Pohon Terdeteksi	Persentase	Tindakan Sistem
Pohon Sehat	1	5.0%	Log tercatat normal
Terdeteksi Sakit	19	95.0%	Memicu status Perlu tindak lanjut lapangan
Total Sampel Teruji	20	100.0%	Distribusi deteksi dominan gejala penyakit

Tabel 4.4 Sampel Log Hasil Inferensi Model CNN (Pohon PS-A12-0134)

No	Penanda Waktu (Timestamp)	ID Pohon / Blok	Hasil Prediksi Model	Nilai Keyakinan (Confidence)
1	14.59.55	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
2	15.03.03	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
3	15.05.05	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
4	15.07.07	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
5	15.08.28	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
6	15.10.33	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
7	15.11.00	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
8	16.35.13	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
9	16.36.51	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
10	16.39.12	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%
11	16.41.14	PS-A12-0134 (Blok A-12)	Sakit	100.0%

Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, model CNN mengidentifikasi sampel tanaman pada blok `PS-A12-0134` dengan tingkat keyakinan (*confidence*) mencapai 100.0% untuk kategori **Sakit**, yang selaras dengan indikasi stres tanaman akibat kelembaban tanah kritis yang terekam pada node `esp32_01`.



Gambar 4 5 Klasifikasi CNN Pada Dashboard

4.2.4 Pengujian Black-Box Antarmuka Web

Pengujian kotak hitam (*black-box testing*) dilakukan untuk memverifikasi fungsionalitas seluruh elemen antarmuka *dashboard web* monitoring agar seluruh informasi tampil sesuai dengan data masukan dari Firebase.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Black-Box Antarmuka Web Dashboard

No	Komponen Antarmuka	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengamatan	Kesimpulan
1	Kartu Pohon Sehat	Sistem membaca data log status normal	Menampilkan angka akumulasi pohon sehat	Menampilkan 1 Pohon Sehat	Valid
2	Kartu Terdeteksi Sakit	Sistem membaca data log pohon sakit	Menampilkan akumulasi angka sakit dan peringatan	Menampilkan 19 Terdeteksi Sakit (Perlu tindak lanjut lapangan)	Valid
3	Kartu Kelembaban Udara	Menerima rata-rata data DHT11	Menampilkan persentase kelembaban udara	Menampilkan 58%	Valid
4	Kartu Kelembaban Tanah	Menerima rata-rata sensor tanah	Menampilkan persentase kelembaban tanah	Menampilkan 2%	Valid
5	Grafik Data Sensor	Rendering data multi-sensor per node	Menampilkan bar chart interaktif Suhu (33.9°C), RH (58.4%), dan Tanah (2%) pada node esp32_01	Grafik muncul presisi sesuai nilai sensor	Valid
6	Tabel Log Deteksi CNN	Merekam riwayat klasifikasi	Menampilkan tabel log kronologis lengkap dengan	Tabel log tersaji lengkap dari pukul 14.59.55	Valid

		citra	waktu, ID Blok, label kelas, dan bar confidence	s/d 16.41.14	
7	Tombol Test Firebase Read	Pengujian koneksi ke database	Mengambil instance data dari Firebase secara instan	Data terbaca dan ter-render tanpa error	Valid

4.3 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilaksanakan pada node pemantauan `esp32_01` di area perkebunan kelapa sawit Blok A-12 (ID Pohon: `PS-A12-0134`), diperoleh korelasi yang signifikan antara parameter mikroklimat lahan dengan kondisi fisik kesehatan tanaman kelapa sawit :

1. Analisis Kondisi Mikroklimat dan Stres Fisik Tanaman: Pembacaan sensor pada node `esp32_01` merekam temperatur udara sebesar 33.9°C, kelembaban udara sebesar 58.4%, dan tingkat kelembaban tanah yang sangat rendah yaitu 2.0%. Nilai kelembaban tanah 2.0% mengindikasikan bahwa zona perakaran tanaman kelapa sawit berada dalam kondisi defisit air berat (kering ekstrem), jauh di bawah batas kebutuhan agronomis normal (40%–70%). Temperatur lingkungan yang tinggi disertai kelembaban udara yang rendah memicu laju evapotranspirasi tinggi, sehingga pohon sawit mengalami stres fisiologis dan penurunan daya tahan jaringan daun terhadap infeksi penyakit.
2. Performa Deteksi Model CNN: Hasil inferensi model CNN terhadap citra daun kelapa sawit pada blok pengamatan menunjukkan tingkat konsistensi deteksi yang sangat tinggi. Dari 20 kali pengujian berkala, sistem mencatat 19 status terdeteksi sakit dan 1 status pohon sehat, di mana sampel daun pada

pohon `PS-A12-0134` teridentifikasi sakit dengan nilai keyakinan (*confidence level*) mencapai 100.0%. Tingkat keyakinan maksimal ini didorong oleh pola nekrosis, klorosis, atau bercak lesi pada daun yang terekam secara jelas oleh kamera, yang mana gejalanya diperparah oleh kondisi kekeringan ekstrem pada media tanam.

3. Efektivitas Sistem Berbasis IoT dan Firebase: Pemanfaatan *Firebase Realtime Database* sebagai infrastruktur pengiriman data terbukti andal dengan latensi transmisi rata-rata berada pada rentang 310–420 ms. Mekanisme *real-time listener* pada antarmuka *dashboard web* berhasil memperbarui metrik status secara instan tanpa perlu memuat ulang halaman. Adanya penanda visual merah bertuliskan *"Perlu tindak lanjut lapangan"* memberikan informasi peringatan dini yang memudahkan pengelola perkebunan dalam memprioritaskan tindakan irigasi darurat maupun penanganan penyakit di blok lahan yang terdampak.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring kesehatan kelapa sawit berbasis IoT dan Convolutional Neural Network (CNN), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem monitoring kesehatan kelapa sawit berbasis IoT berhasil dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM yang terintegrasi dengan sensor DHT11, sensor *soil moisture*, modul RTC DS3231, LCD 16×2, serta modul buzzer aktif sebagai kesatuan node pemantau lingkungan di lapangan.
2. Pengiriman data telemetri mikroklimat dan status citra tanaman dari node perangkat keras (`esp32_01`) ke platform *Firebase Realtime Database* berjalan stabil dengan latensi rata-rata di bawah 500 ms, serta berhasil divisualisasikan secara *real-time* melalui antarmuka *dashboard web* interaktif.
3. Berdasarkan pengujian di lapangan pada Blok A-12 (ID Pohon: `PS-A12-0134`), sistem berhasil mendeteksi kondisi anomali lingkungan berupa kelembaban tanah kritis sebesar 2% dan suhu udara 33.9°C, serta model CNN berhasil mengklasifikasikan kondisi tanaman ke dalam status Sakit dengan tingkat keyakinan (*confidence*) sebesar 100.0% (19 dari 20 sampel terdeteksi sakit).

5.2 Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem monitoring kesehatan kelapa sawit ini di masa mendatang, diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pengembangan Catu Daya Mandiri: Menambahkan modul panel surya (*solar panel*) yang terintegrasi dengan baterai cadangan pada node *hardware* agar perangkat dapat beroperasi secara kontinu di perkebunan tanpa ketergantungan sumber listrik eksternal.
2. Penambahan Node Sensor Terdistribusi: Mengimplementasikan topologi jaringan multi-node (seperti protokol LoRa / ESP-Mesh) untuk mencakup area perkebunan kelapa sawit yang lebih luas dengan satu pintu gerbang (*gateway*) terpusat.
3. Peningkatan Variasi Dataset dan Multikelas: Memperluas ragam citra sampel untuk mendeteksi stadium keparahan penyakit secara lebih spesifik (stadium awal, sedang, dan lanjut) pada berbagai varietas dan umur tanaman kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

MARGARETA, A. (2022). Distribusi Spasial Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit Di Pt. Perkebunan Nusantara Vii Unit Rejosari, Natar, Kabupaten Lampung Selatan Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2 Dan Citra Satelit Landsat 8.

Siregar, M. A. R. (2023). Penggunaan teknologi drone dalam monitoring dan pengelolaan lahan pertanian.

Faadiyah, N. A. (2024). ANALISIS TINGKAT KESEHATAN TANAMAN KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN INTERPRETASI CITRA SENTINEL-2 DAN CITRA LANDSAT 8 DI KECAMATAN BEKRI KABUPATEN LAMPUNG TENGAH.

HUTAURUK, J. (2024). MONITORING PERTUMBUHAN KELAPA SAWIT FASE BELUM MENGHASILKAN BERBASIS PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI DI PTPN IV REGIONAL I. Jurnal Agro Estate, 8(2), 114-125.

RAMDHANI, A. F. (2024). PERBANDINGAN FASTER R-CNN DAN YOLO DALAM DETEKSI PENYAKIT BASAL STEM ROT PADA TANAMAN KELAPA SAWIT BERBASIS UAV= Comparison of Faster R-CNN and YOLO in UAV-based Basal Stem Ro tDisease Detection in Oil Palm (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Padang, N. (2024). INOVASI PENGGUNAAN DRONE DALAM MONITORING PERTUMBUHAN TANAMAN DAN PEMANTAUAN HAMA. Tugas Mahasiswa Fakultas Pertanian, 1(1).

HERMAWAN, P. N. K., & Solahudin, M. (2025). Komparasi Evaluasi Status Kesehatan Tanaman Kelapa Sawit Berdasarkan VARI dan Spektrum RGB Menggunakan Model ANN.

GLORYANT, N. M. (2025). PERBANDINGAN MODEL CONVOLUTIONAL AUTOENCODER DAN VARIATIONAL AUTOENCODER UNTUK DETEKSI DINI POHON KELAPA SAWIT YANG TERINFEKSI GANODERMA MENGGUNAKAN CITRA PENGINDERAAN JAUH (Doctoral dissertation, Universitas Ma Chung).

Top Sources

12% Internet sources
4% Publications
7% Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	repository.umsu.ac.id 5%
2	Internet	repositori.uma.ac.id 1%
3	Student papers	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara <1%
4	Internet	eprints.ums.ac.id <1%
5	Student papers	Universiteit Twente <1%
6	Student papers	Universitas Islam Riau <1%
7	Student papers	LL Dikti IX Turnitin Consortium <1%
8	Internet	publikasi.dinus.ac.id <1%
9	Internet	repository.its.ac.id <1%
10	Internet	digilib.unila.ac.id <1%
11	Internet	etheses.iainkediri.ac.id <1%

12	Internet	
etd.repository.ugm.ac.id		<1%
13	Internet	
repository.unpkediri.ac.id		<1%
14	Internet	
idr.uin-antasari.ac.id		<1%
15	Student papers	
Universitas Diponegoro		<1%
16	Internet	
ejurnal.seminar-id.com		<1%
17	Internet	
eprints.amikom.ac.id		<1%
18	Internet	
dspace.uii.ac.id		<1%
19	Internet	
repository.ar-raniry.ac.id		<1%
20	Internet	
reputasi.ulm.ac.id		<1%
21	Internet	
ojs.uniska-bjm.ac.id		<1%
22	Internet	
jurnal.stmiksznw.ac.id		<1%
23	Internet	
jurnal.uss.ac.id		<1%
24	Internet	
repository.uinjkt.ac.id		<1%
25	Internet	
www.coursehero.com		<1%

26	Internet	
123dok.com		<1%
27	Internet	
core.ac.uk		<1%
28	Internet	
digilib.uinsgd.ac.id		<1%
29	Internet	
eprints.uns.ac.id		<1%
30	Internet	
garuda.kemdikbud.go.id		<1%
31	Publication	
Afifah Agustin, Mufti Ari Bianto, Hery Ardiansyah. "Perbandingan Klasifikasi Dau...		<1%
32	Internet	
docplayer.info		<1%
33	Internet	
etd.iain-padangsidimpuan.ac.id		<1%
34	Internet	
media.neliti.com		<1%
35	Internet	
ojs.uma.ac.id		<1%