

LAPORAN MANGGOSTING : *Manggosteen Grading Optimization Using Smart Technology and Intelligent Imaging*

Dibuat untuk memenuhi tugas mata kuliah Machine Learning dan Sistem Pakar

Dosen pengampu : Liptia Venica, S.T., M.T



Disusun oleh:

Muzakki Al'Aarif	2306153
Nina Herlina	2309271
Agnes Sabela Arrahma	2305113
Alfarizi Khoerul Rizal	2309650
Muhammad Kautsar	2310879
Yoga Dimasya	2209730
M. Dimas Saputra	2311157
M. Haidar Ali P.S.	2309283
M. Fikri Saifullah	2304805
M. Raihan Taqwa	2305944
Nabil Bagus Satrio	2307198
Syahriza Ramadhani Z.F.	2306014

**PROGRAM STUDI MEKATRONIKA DAN KECERDASAN BUATAN
KAMPUS UPI DI PURWAKARTA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Proyek	2
1.4 Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTKA	5
2.1 <i>Machine Learning</i> Klasik.....	5
2.1.1 Klasifikasi pada <i>Machine Learning</i>	5
2.1.2 <i>Algoritma Decision Tree</i>	5
2.1.3 <i>Algoritma Random Forest</i>	6
2.1.4 <i>Algoritma Logistic Regression</i>	6
2.2 Sistem Pakar.....	6
2.2.1 Logika <i>Fuzzy</i>	7
2.2.2 Metode Inferensi <i>Fuzzy Mamdani</i>	8
BAB 3 DATA LATIH DAN REKAYASA FITUR.....	9
3.1 Data Latih.....	9
3.1.1 Data Eksternal	9
3.1.2 Data Internal.....	10
3.2 Pra-Pemrosesan Data	10
3.2.1 Akuisisi dan Validasi Data.....	10
3.2.2 Pemetaan Label (Label Encoding)	11
3.2.3 Pembacaan dan Normalisasi Citra	11
3.2.4 Konversi Ruang Warna	11
3.2.5 Ekstraksi Fitur Warna	12
3.2.6 Ekstraksi Fitur Tekstur	13

3.2.7	Penyusunan Vektor Fitur	15
3.3	Exploratory Data Analysis (EDA)	15
3.3.1	Analisis Distribusi Kelas.....	15
3.3.2	Analisis Statistik Fitur.....	16
3.3.3	Analisis Korelasi Antar Fitur	16
3.3.4	Pembagian Data Latih dan Data Uji	17
3.4	Rekayasa Fitur (Feature Engineering)	17
3.4.1	Ekstraksi Fitur dari Data Citra	17
3.4.2	Feature Engineering pada Data Internal.....	18
3.4.3	Konsistensi dan Penggabungan Fitur Data Eksternal dan Internal	18
BAB 4	MODEL MACHINE LEARNING KLASIK.....	19
4.1	Pemilihan Model Machine Learning Klasik	19
4.2	Evaluasi Model Machine Learning	20
4.3	Analisis dan Interpretasi Hasil	21
BAB 5	PEMBENTUKAN KNOWLEDGE BASE.....	22
5.1	Metode Akuisisi Pengetahuan.....	22
5.1.1	Studi Literatur	22
5.1.2	Wawancara dan Observasi Pakar	25
5.1.3	Variable Fuzzy	29
5.1.4	Aturan IF-THEN	31
BAB 6	IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY.....	34
6.1	Fungsi Keanggotaan.....	34
6.2	Mekanisme Inferensi dan Defuzzifikasi.....	35
6.3	Penyajian Hasil Inferensi	36
BAB 7	ANALISIS, PEGUJIAN, DAN KESIMPULAN	38
7.1	Analisis Kinerja Machine Learning	38
7.1.1	Model Machine Learning Terpilih	38
7.1.2	Hasil Pengujian Model.....	38
7.2	Pengujian Kinerja Sistem Pakar.....	39
7.2.1	Metode Pengujian Sistem Pakar.....	40
7.2.2	Parameter Evaluasi Sistem Pakar.....	40

7.2.3	Hasil Pengujian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis	41
7.2.4	Hasil Pengujian Sistem Pakar Fuzzy Rekomendasi Penanganan Buah Manggis	42
7.2.5	Analisis Hasil Pengukuran Sistem Pakar	44
7.3	Kesimpulan	44
7.4	Saran.....	45
	LAMPIRAN.....	46
	DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sistem Pakar	6
Gambar 2. Fuzzy Logic.....	7
Gambar 3. Konversi Ruang Warna	12
Gambar 4. Distribusi Nilasi mean RGB per Kelas	13
Gambar 5. Heatmap Matriks GLCM	14
Gambar 6. Penyusunan Venter Fitur.....	15
Gambar 7. Distribusi Label Manggis.....	16
Gambar 8. Statistik Fitur	16
Gambar 9. Matriks Korelasi Fitur	17
Gambar 10. Metrik Evaluasi Model.....	20
Gambar 11. Membership Function Kondisi Buah	34
Gambar 12. Visualisasi Area Fuzzy dan Defuzzifikasi (Centroid).....	35
Gambar 13. Confusion Matrix Decision Tree.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pemetaan Label	11
Tabel 2. Ekstrasi Fitur Warna	12
Tabel 3. Ekstrasi Fitur Tekstur.....	13
Tabel 4. Studi Litaratur Diagnosa Penyakit Tanaman Manggis	22
Tabel 5. Studi Litaratur Rekomendasi Tindak Lanjut dan Segmentasi Pasar	24
Tabel 6. Pertanyaan Wawancara Pakar	27
Tabel 7. Aturan IF–THEN Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis	31
Tabel 8. Aturan IF–THEN Rekomendasi Tindak Lanjut dan Segmentasi Pasar.....	32
Tabel 9. Hasil Penyajian Inferensi Sistem Pakar Fuzzy	36
Tabel 10. Hasil Pengujian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis	41
Tabel 11. Rekapitulasi Tingkat Kesesuaian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit	42
Tabel 12. Hasil Pengujian Sistem Pakar Fuzzy Rekomendasi Penanganan Buah Manggis.....	43
Tabel 11. Rekapitulasi Tingkat Kesesuaian Sistem Pakar Rekomendasi Penanganan Buah Manggis	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Buah manggis merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, terutama untuk pasar ekspor. Di tahun 2024, manggis Indonesia berada di peringkat utama ekspor buah-buahan dengan volume ekspor sebesar 59.562 ton dengan nilai hingga Rp 2,02 triliun (Zikri & Hakimi, 2025). Kualitas buah manggis menjadi faktor utama dalam menentukan nilai jual, sehingga proses sortasi mutu merupakan tahap penting sebelum distribusi (Thammastitkul & Klayjumlang, 2021). Namun, proses sortasi buah manggis yang masih dilakukan secara manual memiliki berbagai keterbatasan, seperti ketidakkonsistenan hasil, subjektivitas penilaian, serta efisiensi waktu yang rendah.

Perkembangan teknologi pengolahan citra digital memungkinkan proses penilaian mutu buah dilakukan secara otomatis dan non-destruktif berdasarkan karakteristik visual, seperti warna dan tekstur permukaan (Riyadi et al., 2020). Pemanfaatan teknologi ini dapat meningkatkan konsistensi dan kecepatan proses sortasi dibandingkan metode manual. Dalam konteks pengambilan keputusan klasifikasi, machine learning klasik menjadi pendekatan yang relevan karena mampu mengolah fitur visual dan menghasilkan keputusan yang terstruktur (Thammastitkul & Klayjumlang, 2021).

Algoritma Decision Tree merupakan salah satu metode *machine learning* klasik yang memiliki keunggulan dalam hal kemudahan interpretasi dan efisiensi komputasi. Algoritma ini cocok digunakan untuk sistem klasifikasi mutu buah karena mampu menghasilkan aturan keputusan yang jelas berdasarkan fitur warna dan tekstur citra (Haq et al., 2025). Namun, dalam kondisi tertentu, penilaian mutu buah tidak selalu bersifat tegas (*crisp*) dan sering melibatkan ketidakpastian yang menyerupai cara berpikir manusia (Petropoulos et al., 2025).

Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, diperlukan pendekatan Sistem Pakar berbasis logika *fuzzy*. Metode inferensi *fuzzy* Mamdani mampu merepresentasikan pengetahuan pakar dalam bentuk aturan linguistik dan menangani nilai-nilai yang

bersifat samar (Zulnardi & Udjulawa, 2023). Kombinasi antara model machine learning klasik dan sistem pakar *fuzzy* diharapkan dapat menghasilkan sistem klasifikasi dan pengambilan keputusan yang lebih fleksibel dan mendekati penilaian manusia (Petropoulos et al., 2025).

Selain itu, penerapan konsep *Internet of Things* (IoT) memungkinkan integrasi sistem pengolahan citra, *machine learning*, dan sistem pakar dengan perangkat keras serta sistem monitoring secara *real-time* (Ayaz et al., 2019). Dengan demikian, hasil klasifikasi dan keputusan sistem dapat digunakan secara langsung dan dipantau melalui dashboard berbasis cloud. Oleh karena itu, penelitian ini penting dan relevan untuk mengembangkan sistem sortasi buah manggis berbasis *Machine Learning* Klasik dan Sistem Pakar *Fuzzy* yang terintegrasi dengan teknologi IoT.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam proyek ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan algoritma *machine learning* klasik untuk mengklasifikasikan mutu buah manggis berdasarkan fitur warna dan tekstur hasil pengolahan citra?
2. Bagaimana merancang sistem pakar berbasis logika *fuzzy* untuk memberikan keputusan atau rekomendasi mutu buah manggis berdasarkan parameter yang bersifat tidak pasti?
3. Bagaimana mengimplementasikan integrasi sistem klasifikasi dan sistem pakar tersebut ke dalam arsitektur *Internet of Things* menggunakan protokol MQTT?
4. Bagaimana menyajikan hasil klasifikasi dan rekomendasi mutu buah manggis melalui dashboard monitoring secara *real-time*?

1.3 Tujuan Proyek

Tujuan dari proyek ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model *machine learning* klasik berbasis algoritma yang mampu mengklasifikasikan mutu buah manggis secara otomatis dan akurat.

2. Mengembangkan sistem pakar berbasis logika *fuzzy* yang mampu memberikan keputusan atau rekomendasi mutu buah manggis berdasarkan aturan dan parameter yang ditentukan.
3. Mengimplementasikan sistem sortasi buah manggis berbasis *Machine Learning* dan Sistem Pakar *Fuzzy* yang terhubung dengan teknologi Internet of Things.
4. Menyediakan *dashboard monitoring* untuk menampilkan hasil klasifikasi dan rekomendasi mutu buah manggis secara *real-time*.

1.4 Ruang Lingkup

Agar penelitian ini terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ditetapkan, maka ruang lingkup proyek dibatasi sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data citra buah manggis yang diperoleh dari sumber daring (*internet*) sebagai data pelatihan dan pengujian model *machine learning*.
2. Selain data dari internet, sistem juga diintegrasikan dengan kamera digital untuk melakukan pengambilan citra buah manggis secara langsung sebagai bagian dari simulasi sistem *real-time*.
3. Citra hasil akuisisi kamera digital dikirim dan diproses melalui sistem *Internet of Things* (IoT) menggunakan protokol MQTT untuk kebutuhan integrasi dan *monitoring*.
4. Proses pengolahan citra dibatasi pada tahapan akuisisi citra, *preprocessing*, segmentasi warna berbasis ruang warna HSV, dan ekstraksi fitur tekstur menggunakan metode GLCM.
5. Model *machine learning* klasik yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Decision Tree*, *Random Forest*, dan *Logistic Regression*, yang selanjutnya dilakukan perbandingan performa untuk menentukan model terbaik dalam klasifikasi mutu buah manggis.
6. Sistem pakar yang dikembangkan menggunakan logika *fuzzy* dengan metode inferensi Mamdani untuk memberikan keputusan atau rekomendasi mutu buah manggis berdasarkan hasil klasifikasi dan parameter yang bersifat tidak pasti.

7. *Knowledge base* sistem pakar dibatasi pada aturan *fuzzy (rule base)* yang disusun berdasarkan pengetahuan pakar dan referensi terkait mutu buah manggis.
8. Sistem IoT dibatasi pada pengiriman dan monitoring data hasil klasifikasi dan rekomendasi menggunakan protokol MQTT.
9. Penelitian ini berfokus pada pengembangan perangkat lunak dan integrasi sistem, tanpa membahas optimasi perangkat keras dan pengujian skala industri secara mendalam.
10. Sistem *monitoring* dibatasi pada penyajian hasil klasifikasi dan rekomendasi mutu buah manggis melalui *dashboard* secara *real-time*, tanpa analisis lanjutan berbasis *big data*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTKA

2.1 *Machine Learning* Klasik

Machine Learning Klasik merupakan pendekatan pembelajaran mesin yang menggunakan algoritma statistik dan matematis untuk mengenali pola dari data tanpa memerlukan arsitektur jaringan saraf yang kompleks (Haq et al., 2025). Pendekatan ini umumnya digunakan pada permasalahan dengan jumlah fitur terbatas dan *dataset* berukuran kecil hingga menengah. Keunggulan utama *machine learning* klasik terletak pada efisiensi komputasi, kemudahan interpretasi model, serta kesesuaiannya untuk sistem yang terintegrasi dengan perangkat IoT (Quy et al., 2022). Oleh karena itu, *machine learning* klasik dipilih dalam penelitian ini untuk melakukan klasifikasi mutu buah manggis berdasarkan fitur hasil pengolahan citra.

2.1.1 Klasifikasi pada *Machine Learning*

Klasifikasi merupakan salah satu tugas utama dalam *machine learning* yang bertujuan untuk menentukan kelas atau kategori suatu data berdasarkan karakteristik tertentu (Petropoulos et al., 2025). Proses klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan data latih yang telah diberi label untuk membangun model, kemudian dievaluasi menggunakan data uji. Dalam penelitian ini, klasifikasi digunakan untuk menentukan mutu buah manggis berdasarkan fitur warna dan tekstur citra, sehingga hasil klasifikasi dapat digunakan sebagai dasar penilaian mutu buah secara otomatis dan konsisten (Riyadi et al., 2021).

2.1.2 Algoritma Decision Tree

Decision Tree merupakan algoritma klasifikasi yang membentuk struktur pohon keputusan berdasarkan atribut data (Sarker, 2021). Setiap *node* pada pohon merepresentasikan atribut pengujian, sedangkan cabang menunjukkan hasil pengujian dan node daun menunjukkan kelas keputusan. Algoritma ini bekerja dengan memilih atribut terbaik berdasarkan kriteria tertentu seperti *entropy* dan *information gain*. *Decision Tree* memiliki keunggulan dalam hal kemudahan interpretasi karena proses pengambilan keputusan yang dihasilkan menyerupai cara berpikir manusia, sehingga banyak digunakan dalam sistem klasifikasi berbasis aturan (Tian et al., 2020).

2.1.3 Algoritma Random Forest

Random Forest merupakan *metode ensemble learning* yang mengombinasikan beberapa *Decision Tree* untuk menghasilkan prediksi yang lebih stabil dan akurat. Setiap pohon keputusan dibangun menggunakan *subset* data dan atribut yang dipilih secara acak (Riyadi et al., 2020). Hasil prediksi akhir ditentukan berdasarkan mekanisme voting dari seluruh pohon. Pendekatan ini mampu mengurangi risiko *overfitting* yang sering terjadi pada *Decision Tree* tunggal serta meningkatkan performa klasifikasi. Dalam penelitian ini, *Random Forest* digunakan sebagai model pembanding untuk mengevaluasi peningkatan performa klasifikasi mutu buah manggis (Sarker, 2021).

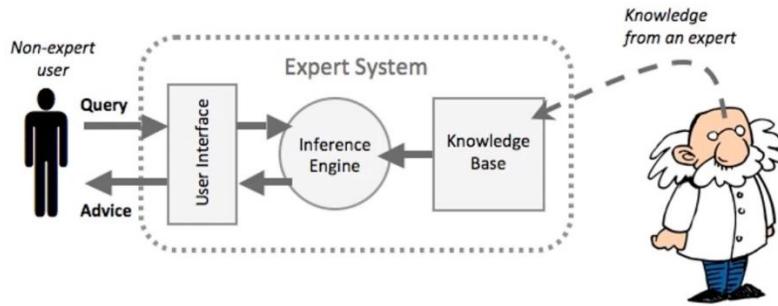
2.1.4 Algoritma Logistic Regression

Logistic Regression merupakan algoritma klasifikasi berbasis statistik yang digunakan untuk memprediksi probabilitas suatu data termasuk ke dalam kelas tertentu (Petropoulos et al., 2025). Algoritma ini menggunakan fungsi *sigmoid* untuk memetakan hasil prediksi ke dalam rentang nilai antara 0 dan 1. *Logistic Regression* memiliki struktur yang sederhana, efisien, dan mudah diinterpretasikan. Oleh karena itu, algoritma ini digunakan sebagai baseline atau pembanding dalam penelitian untuk menilai performa *model machine learning* lainnya.

2.2 Sistem Pakar

Sistem Pakar adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk meniru kemampuan pengambilan keputusan seorang pakar dalam bidang tertentu. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan basis pengetahuan yang berisi fakta dan aturan, serta mesin inferensi yang melakukan proses penalaran (Ningrum et al., 2024).

Gambar 1. Sistem Pakar

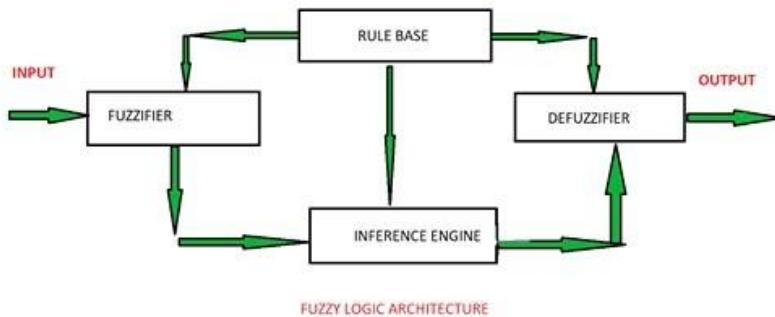


Dalam penelitian ini, sistem pakar digunakan secara mandiri tanpa integrasi teknis langsung dengan *machine learning*, dengan tujuan untuk membantu proses diagnosis penyakit tanaman manggis serta memberikan rekomendasi tindakan dan pemasaran berdasarkan hasil *grading* buah manggis.

2.2.1 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* merupakan pendekatan logika yang memungkinkan suatu nilai memiliki derajat keanggotaan antara 0 dan 1. Berbeda dengan logika tegas yang hanya mengenal nilai benar atau salah, logika *fuzzy* mampu menangani ketidakpastian dan ambiguitas yang sering muncul dalam penilaian manusia (Rahmatullah et al., 2025).

Gambar 2. Fuzzy Logic



Logika *fuzzy* sangat sesuai digunakan dalam sistem pakar, terutama ketika parameter yang digunakan bersifat linguistik seperti rendah, sedang, dan tinggi. Oleh karena itu, logika *fuzzy* digunakan sebagai dasar dalam membangun sistem pakar pada penelitian ini.

2.2.2 Metode Inferensi *Fuzzy Mamdani*

Metode inferensi *fuzzy* Mamdani merupakan salah satu metode inferensi *fuzzy* yang paling umum digunakan dalam sistem pakar. Metode ini menggunakan aturan berbentuk *IF–THEN* untuk merepresentasikan pengetahuan pakar. Proses inferensi Mamdani meliputi tahapan fuzzifikasi, evaluasi aturan, agregasi, dan defuzzifikasi. Hasil akhir dari proses ini berupa nilai tegas yang digunakan sebagai diagnosis penyakit tanaman manggis atau rekomendasi tindakan dan pemasaran buah manggis. Metode Mamdani dipilih karena strukturnya sederhana, mudah dipahami, dan mampu merepresentasikan cara berpikir pakar secara efektif (Sarker, 2021).

BAB 3

DATA LATIH DAN REKAYASA FITUR

3.1 Data Latih

Data yang digunakan dalam penelitian ini dibedakan menjadi data eksternal dan data internal. Pembagian ini dilakukan berdasarkan sumber data dan perannya dalam pengembangan serta pengujian sistem. Data eksternal digunakan sebagai data utama untuk pelatihan dan pengujian model *machine learning*, sedangkan data internal digunakan untuk pengujian sistem dan validasi integrasi IoT.

3.1.1 Data Eksternal

Data latih yang digunakan dalam penelitian ini seluruhnya berasal dari data eksternal berupa dataset citra buah manggis yang diperoleh dari sumber daring (internet). Dataset tersebut dikumpulkan dari berbagai sumber dataset publik dan situs daring yang menyediakan citra buah manggis. Proses pengumpulan data dilakukan secara terstruktur untuk memastikan ketersediaan data yang seimbang pada setiap kelas mutu.

Setiap citra buah manggis telah diberikan label mutu yang digunakan sebagai kelas target dalam proses klasifikasi. Untuk menjaga keseimbangan data dan menghindari bias model terhadap kelas tertentu, jumlah citra pada setiap label diseragamkan, yaitu sebanyak 1386 citra untuk setiap kelas mutu. Dengan demikian, dataset yang digunakan memiliki distribusi kelas yang seimbang.

Data eksternal ini selanjutnya dibagi menjadi data latih dan data uji untuk membangun serta mengevaluasi performa model machine learning klasik. Penggunaan dataset dari internet dipilih karena mampu menyediakan jumlah data yang besar dengan variasi mutu, kondisi pencahayaan, dan sudut pengambilan citra yang beragam. Variasi tersebut penting untuk meningkatkan kemampuan generalisasi model machine learning.

Pemanfaatan data eksternal sebagai data latih juga dilakukan untuk mengatasi keterbatasan jumlah sampel buah manggis yang diperoleh dari sistem IoT, khususnya untuk masing-masing grade mutu. Dengan jumlah data yang mencukupi dan seimbang,

model machine learning dapat dilatih secara optimal dan menghasilkan performa klasifikasi yang lebih stabil.

3.1.2 Data Internal

Selain data eksternal, sistem IoT yang dikembangkan telah mampu melakukan akuisisi citra buah manggis secara langsung menggunakan kamera digital. Data yang diperoleh dari sistem ini selanjutnya disebut sebagai data internal. Namun, keterbatasan ketersediaan buah manggis dengan variasi grade mutu menyebabkan jumlah dan keragaman data internal belum mencukupi untuk digunakan sebagai data latih. Oleh karena itu, dalam penelitian ini data internal tidak digunakan dalam proses pelatihan model machine learning. Data internal difokuskan untuk keperluan pengujian sistem, khususnya dalam skenario operasional dan simulasi real-time, guna mengamati kinerja sistem klasifikasi dan sistem pakar fuzzy pada kondisi sebenarnya.

Meskipun tidak digunakan sebagai data latih, data internal memiliki peran penting dalam keseluruhan sistem yang dikembangkan. Data internal digunakan untuk melakukan validasi alur sistem, mulai dari proses akuisisi citra, pengiriman data melalui sistem IoT, hingga keluaran hasil klasifikasi dan rekomendasi sistem pakar. Data internal digunakan untuk pengujian stabilitas prediksi model machine learning terhadap data baru yang diperoleh secara langsung dari kamera digital. Data ini juga dimanfaatkan sebagai demonstrasi integrasi antara sistem machine learning dan sistem IoT, sehingga menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara end-to-end dalam kondisi operasional.

3.2 Pra-Pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data merupakan tahap awal yang bertujuan untuk menyiapkan data citra agar layak digunakan dalam proses ekstraksi fitur dan pelatihan model machine learning. Tahapan ini dilakukan untuk memastikan bahwa data yang digunakan bersih, konsisten, dan memiliki format yang sesuai dengan kebutuhan algoritma klasifikasi.

3.2.1 Akuisisi dan Validasi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra buah manggis yang diperoleh dari proses pengambilan gambar. Setiap citra diberi label kualitas yang terdiri

dari Grade A, Grade B, dan Grade C. Informasi label disimpan dalam sebuah berkas CSV yang memuat nama file citra dan kelas kualitasnya.

Proses validasi dilakukan dengan mencocokkan nama file citra dengan label yang tercantum pada file CSV untuk memastikan tidak terjadi kesalahan pelabelan. Tahapan ini penting untuk menjamin bahwa data citra dan label yang digunakan dalam proses pelatihan dan pengujian model berada dalam kondisi valid dan konsisten.

3.2.2 Pemetaan Label (Label Encoding)

Label kualitas buah manggis yang bersifat kategorikal dikonversi menjadi nilai numerik agar dapat diproses oleh algoritma machine learning. Pada penelitian ini, proses pemetaan label dilakukan dengan ketentuan

Tabel 1. Pemetaan Label

Label	Encoding
A	0
B	1
C	2

Proses label encoding ini diperlukan karena algoritma machine learning hanya dapat mengolah data dalam bentuk numerik. Dengan pemetaan tersebut, format label menjadi seragam dan siap digunakan dalam proses pelatihan model.

3.2.3 Pembacaan dan Normalisasi Citra

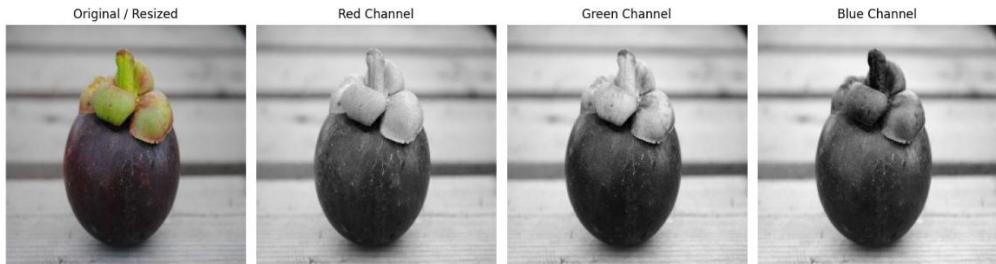
Citra buah manggis dibaca menggunakan library *OpenCV*. Setiap citra kemudian diubah ukurannya menjadi 256×256 piksel untuk memastikan seluruh data memiliki dimensi yang seragam. Normalisasi ukuran citra dilakukan untuk menghindari perbedaan resolusi yang dapat memengaruhi hasil ekstraksi fitur. Dengan ukuran citra yang seragam, proses pengolahan citra dapat dilakukan secara konsisten pada seluruh dataset.

3.2.4 Konversi Ruang Warna

Citra berwarna yang semula berada dalam ruang warna RGB dikonversi ke *grayscale*. Konversi ini dilakukan untuk menyederhanakan informasi citra dan mempersiapkan data untuk proses ekstraksi fitur tekstur. Penggunaan citra grayscale

bertujuan untuk mengurangi kompleksitas data sekaligus mempertahankan informasi intensitas yang dibutuhkan dalam analisis tekstur menggunakan metode GLCM.

Gambar 3. Konversi Ruang Warna



3.2.5 Ekstraksi Fitur Warna

Ekstraksi fitur warna dilakukan dengan memanfaatkan kanal *Red*, *Green*, dan *Blue* (RGB). Dari masing-masing kanal, dihitung nilai rata-rata (mean) dan standar deviasi intensitas warna. Dengan demikian, total fitur warna yang dihasilkan berjumlah enam fitur. Fitur warna ini digunakan untuk merepresentasikan karakteristik warna kulit buah manggis yang berkaitan dengan tingkat kematangan dan kualitas buah.

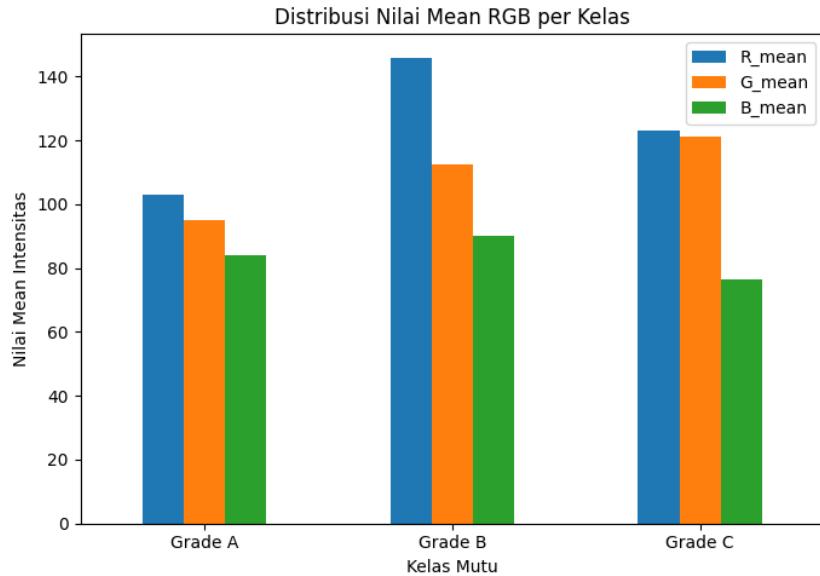
Tabel 2. Ekstrasi Fitur Warna

Nama Fitur	Keterangan
R_mean	Rata-rata intensitas warna merah
G_mean	Rata-rata intensitas warna hijau
B_mean	Rata-rata intensitas warna biru
R_std	Standar deviasi warna merah
G_std	Standar deviasi warna hijau
B_std	Standar deviasi warna biru

Hasil dari tabel 2 ditunjukkan pada gambar di bawah menunjukkan distribusi nilai rata-rata intensitas warna Red (R), Green (G), dan Blue (B) pada citra buah manggis untuk masing-masing kelas mutu, yaitu Grade A, Grade B, dan Grade C. Grafik ini memperlihatkan adanya perbedaan karakteristik warna kulit buah pada setiap kelas mutu. Grade A cenderung memiliki nilai mean RGB yang lebih rendah dan relatif seimbang, yang mengindikasikan warna kulit buah yang lebih gelap dan seragam.

Kondisi ini umumnya berkaitan dengan buah manggis yang memiliki kualitas baik dan tingkat kematangan yang optimal.

Gambar 4. Distribusi Nilai mean RGB per Kelas



Pada Grade B dan Grade C terlihat peningkatan nilai mean pada kanal **R** dan **G**, dengan pola yang berbeda pada kanal **B**. Grade B menunjukkan nilai mean RGB yang lebih tinggi secara umum, sedangkan Grade C memiliki nilai mean kanal **B** yang lebih rendah dibandingkan kanal lainnya. Perbedaan distribusi nilai mean RGB antar kelas mutu ini menunjukkan bahwa fitur warna memiliki peran penting dalam membedakan kualitas buah manggis, sehingga relevan digunakan sebagai salah satu fitur utama dalam proses klasifikasi mutu berbasis machine learning.

3.2.6 Ekstraksi Fitur Tekstur

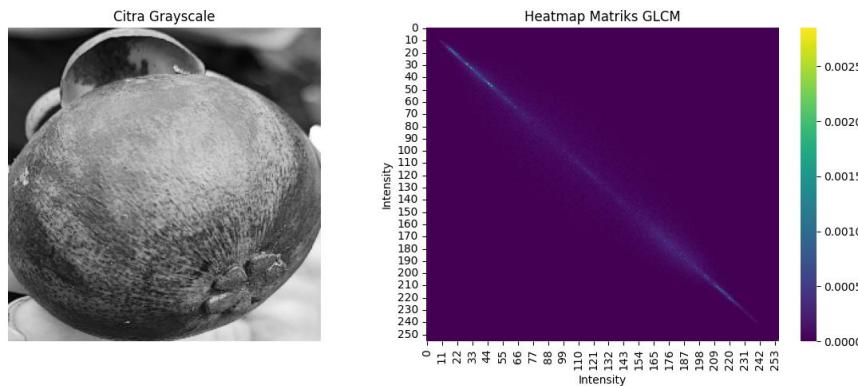
Ekstraksi fitur tekstur dilakukan menggunakan metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM). Metode ini digunakan untuk menganalisis hubungan spasial antar piksel pada citra grayscale. Fitur tekstur yang digunakan meliputi *contrast*, *homogeneity*, *energy*, dan *correlation*, sehingga total fitur tekstur yang dihasilkan berjumlah empat fitur. Fitur-fitur ini digunakan untuk menggambarkan tingkat kekasaran, keteraturan, dan pola permukaan kulit buah manggis.

Tabel 3. Ekstrasi Fitur Tekstur

Nama Fitur	Keterangan
Contrast	Mengukur perbedaan intensitas piksel
Homogeneity	Mengukur keseragaman tekstur
Energy	Mengukur tingkat kehalusan tekstur
Correlation	Mengukur hubungan antar piksel

Hasil ekstrasi pada tabel tersebut menghasilkan gambar 3 yang menampilkan contoh citra buah manggis dalam bentuk *grayscale* serta *visualisasi heatmap matriks Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) yang dihasilkan dari citra tersebut. Konversi citra ke grayscale dilakukan untuk menyederhanakan informasi warna menjadi intensitas keabuan, sehingga pola tekstur permukaan kulit buah dapat dianalisis secara lebih efektif.

Gambar 5. Heatmap Matriks GLCM



Heatmap matriks GLCM menunjukkan frekuensi kemunculan pasangan nilai intensitas piksel pada jarak dan arah tertentu. Pola dominan yang terlihat pada diagonal matriks mengindikasikan bahwa banyak pasangan piksel memiliki nilai intensitas yang sama atau mendekati, yang mencerminkan tingkat keseragaman tekstur permukaan buah. Visualisasi ini membuktikan bahwa metode GLCM berhasil menangkap karakteristik tekstur citra buah manggis yang selanjutnya digunakan untuk menghitung fitur tekstur seperti contrast, homogeneity, energy, dan correlation dalam proses klasifikasi mutu.

3.2.7 Penyusunan Vektor Fitur

Fitur warna dan fitur tekstur yang telah diekstraksi selanjutnya digabungkan menjadi satu vektor fitur untuk setiap citra. Total fitur yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 10 fitur, yang terdiri dari 6 fitur warna dan 4 fitur tekstur. Vektor fitur ini merupakan representasi numerik dari citra buah manggis dan digunakan sebagai input pada model klasifikasi machine learning.

Gambar 6. Penyusunan Vektor Fitur

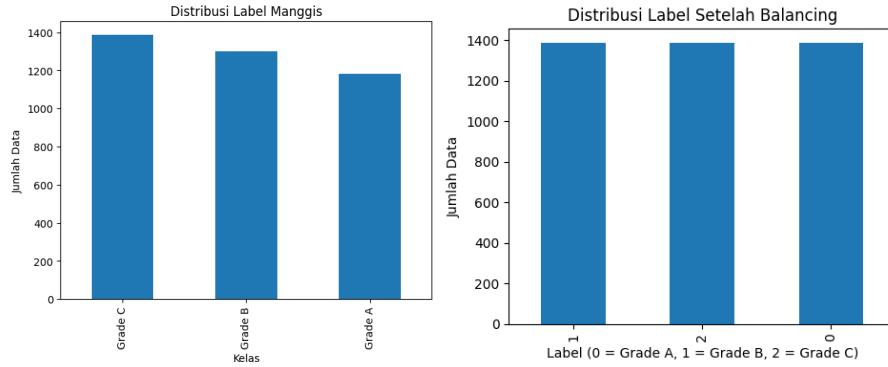
	R_mean	G_mean	B_mean	R_std	G_std	B_std	contrast	homogeneity	energy	correlation
0	131.850250	109.362747	122.433441	56.936340	59.560923	62.574332	371.712638	0.178813	0.013531	0.944582
1	131.862534	109.363983	122.449356	56.937118	59.556104	62.577329	370.853554	0.178422	0.013520	0.944706
2	110.316498	91.405518	102.043228	69.312919	67.271687	73.247649	393.789369	0.271123	0.157640	0.957010
3	131.865952	109.379105	122.407700	56.418920	59.057805	62.121709	260.653523	0.192600	0.014334	0.960450
4	135.322708	110.600830	124.955063	63.493369	66.546592	70.172264	465.372365	0.171196	0.013301	0.944436

3.3 Exploratory Data Analysis (EDA)

3.3.1 Analisis Distribusi Kelas

Analisis distribusi kelas dilakukan dengan memvisualisasikan jumlah data pada masing-masing kelas kualitas. Distribusi data sebelum dan sesudah proses penyeimbangan dibandingkan untuk memastikan bahwa dataset yang digunakan dalam pelatihan memiliki distribusi kelas yang seimbang.

Gambar 7. Distribusi Label Manggis



Distribusi jumlah data pada setiap kelas dianalisis untuk mengetahui adanya ketidakseimbangan data. Karena terdapat perbedaan jumlah data antar kelas, dilakukan proses penyeimbangan data (*resampling*). Proses ini bertujuan untuk menyamakan jumlah data pada setiap kelas agar setara dengan kelas mayoritas. Dengan demikian, bias model terhadap kelas tertentu dapat diminimalkan dan performa klasifikasi dapat ditingkatkan.

3.3.2 Analisis Statistik Fitur

Analisis statistik deskriptif dilakukan terhadap fitur yang telah diekstraksi. Statistik yang diamati meliputi nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan standar deviasi untuk setiap fitur. Analisis ini bertujuan untuk memahami rentang nilai dan sebaran masing-masing fitur sebelum digunakan dalam proses pelatihan model.

Gambar 8. Statistik Fitur

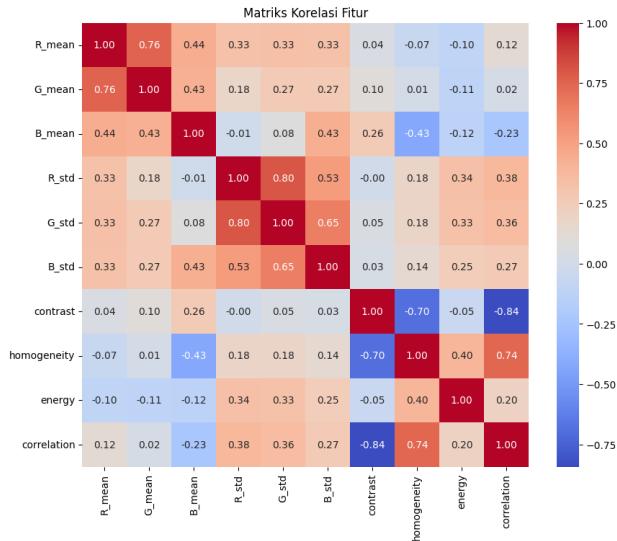
	R_mean	G_mean	B_mean	R_std	G_std	B_std	contrast	homogeneity	energy	correlation
count	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000	3867.000000
mean	124.574894	110.328146	83.229702	59.505117	56.464022	48.518761	203.719166	0.246383	0.035963	0.960772
std	30.720574	26.592480	26.601247	12.309875	11.652075	12.148020	196.624527	0.127212	0.045224	0.041354
min	22.878998	24.046722	4.303253	20.696035	21.270112	12.075518	3.441774	0.054784	0.007645	0.621268
25%	101.349388	91.705292	66.512306	51.311385	49.195339	40.467335	40.885256	0.125022	0.013777	0.939931
50%	123.044479	109.165558	85.601578	59.597210	56.847813	47.805715	144.781112	0.239205	0.019429	0.976139
75%	147.647041	126.760353	99.463272	67.573640	63.795833	55.948938	308.615028	0.332417	0.031482	0.993413
max	229.326736	213.345673	193.821518	99.878663	97.491392	109.583862	1912.862393	0.667315	0.529491	0.999283

3.3.3 Analisis Korelasi Antar Fitur

Analisis korelasi antar fitur dilakukan dengan membuat matriks korelasi yang divisualisasikan menggunakan *heatmap*. Analisis ini digunakan untuk melihat hubungan antar fitur warna dan tekstur. Hasil analisis korelasi membantu dalam

memahami kontribusi masing-masing fitur serta mengidentifikasi fitur yang memiliki korelasi tinggi.

Gambar 9. Matriks Korelasi Fitur



3.3.4 Pembagian Data Latih dan Data Uji

Dataset dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji. Pembagian dilakukan secara *stratified* untuk memastikan proporsi kelas pada data latih dan data uji tetap seimbang. Pembagian ini bertujuan untuk mengukur kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

3.4 Rekayasa Fitur (Feature Engineering)

Rekayasa fitur merupakan tahapan penting dalam machine learning yang bertujuan untuk mengubah data mentah menjadi representasi fitur numerik yang relevan dan dapat diproses oleh model klasifikasi. Pada penelitian ini, rekayasa fitur dilakukan terhadap data citra buah manggis yang berasal dari data eksternal dan data internal agar memiliki format dan karakteristik fitur yang konsisten.

3.4.1 Ekstraksi Fitur dari Data Citra

Ekstraksi fitur dilakukan untuk memperoleh karakteristik visual buah manggis yang merepresentasikan mutu buah. Proses ekstraksi fitur diawali dengan tahapan preprocessing citra, yang meliputi penyesuaian ukuran citra dan segmentasi objek buah dari latar belakang menggunakan ruang warna HSV.

Setelah proses segmentasi, dilakukan ekstraksi fitur tekstur menggunakan metode Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM). Fitur tekstur yang diambil meliputi *contrast*, *homogeneity*, *energy*, dan *correlation*, yang digunakan untuk merepresentasikan pola permukaan kulit buah manggis. Selain itu, fitur warna diperoleh dari komponen HSV untuk menangkap karakteristik warna kulit buah. Fitur-fitur hasil ekstraksi ini selanjutnya digunakan sebagai input bagi model machine learning klasik dalam proses klasifikasi mutu buah manggis.

3.4.2 Feature Engineering pada Data Internal

Data internal yang diperoleh dari kamera digital pada sistem IoT diproses menggunakan tahapan rekayasa fitur yang sama dengan data eksternal. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa data internal memiliki representasi fitur yang seragam dan kompatibel dengan model machine learning yang telah dilatih. Proses rekayasa fitur pada data internal meliputi preprocessing citra, segmentasi warna berbasis HSV, serta ekstraksi fitur tekstur menggunakan GLCM. Data internal tidak digunakan dalam proses pelatihan model, melainkan digunakan sebagai data uji untuk mengamati kinerja sistem klasifikasi pada kondisi operasional dan simulasi real-time.

3.4.3 Konsistensi dan Penggabungan Fitur Data Eksternal dan Internal

Konsistensi rekayasa fitur menjadi aspek penting untuk memastikan bahwa model machine learning dapat bekerja dengan baik pada data dari berbagai sumber. Oleh karena itu, seluruh data citra, baik data eksternal maupun data internal, diproses menggunakan metode ekstraksi fitur dan parameter yang sama. Fitur hasil ekstraksi dari data eksternal digunakan untuk membentuk dataset pelatihan dan pengujian model machine learning. Sementara itu, fitur dari data internal digunakan sebagai input sistem untuk pengujian dan validasi performa model dalam lingkungan IoT. Dengan pendekatan ini, penggabungan fitur dilakukan pada tingkat representasi fitur, bukan pada tingkat data mentah, sehingga menjaga konsistensi dan keandalan sistem secara keseluruhan.

BAB 4

MODEL MACHINE LEARNING KLASIK

4.1 Pemilihan Model Machine Learning Klasik

Pada penelitian ini dilakukan pengujian dan perbandingan terhadap tiga model machine learning klasik, yaitu *Decision Tree*, *Random Forest*, dan *Logistic Regression*. Ketiga model tersebut dipilih karena mewakili pendekatan klasifikasi yang berbeda dalam machine learning klasik, namun masih berada dalam tingkat kompleksitas yang relatif sebanding. Dengan pemilihan ini, perbandingan model tidak hanya berfokus pada performa numerik, tetapi juga pada karakteristik model dan kesesuaian untuk implementasi sistem grading buah manggis.

Decision Tree digunakan sebagai model dasar karena memiliki struktur yang sederhana dan mudah diinterpretasikan. Model ini membentuk aturan keputusan yang jelas sehingga setiap hasil klasifikasi dapat ditelusuri berdasarkan parameter fitur warna dan tekstur. Karakteristik ini menjadikan *Decision Tree* sesuai untuk sistem nyata, khususnya sistem berbasis IoT yang memiliki keterbatasan sumber daya dan membutuhkan transparansi dalam pengambilan keputusan.

Random Forest dipilih sebagai model pembanding berbasis ensemble learning untuk mengevaluasi peningkatan performa yang diperoleh dari penggabungan beberapa *Decision Tree*. Pendekatan ini mampu meningkatkan akurasi dan mengurangi kesalahan prediksi. Namun, kompleksitas model yang lebih tinggi menyebabkan proses pengambilan keputusan menjadi sulit diinterpretasikan, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan hasil ketika diterapkan langsung pada sistem grading.

Sementara itu, *Logistic Regression* digunakan sebagai model pembanding berbasis pendekatan linear untuk mengetahui sejauh mana hubungan linear antar fitur dapat memisahkan kelas mutu buah manggis. Model ini berperan sebagai pembanding untuk menilai efektivitas model berbasis pohon dibandingkan model statistik sederhana.

Berdasarkan hasil pengujian dan pertimbangan implementasi sistem nyata, *Decision Tree* dipilih sebagai model utama yang diintegrasikan ke dalam sistem

grading buah manggis. Pemilihan ini didasarkan pada keseimbangan antara performa klasifikasi yang baik, stabilitas prediksi, serta kemudahan interpretasi dan implementasi.

4.2 Evaluasi Model Machine Learning

Evaluasi performa model machine learning dilakukan untuk mengukur kemampuan masing-masing model dalam mengklasifikasikan mutu buah manggis secara akurat dan konsisten. Evaluasi dilakukan menggunakan data uji dengan pendekatan *k-fold cross-validation*, sehingga hasil evaluasi tidak bergantung pada satu pembagian data tertentu.

Metrik evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *accuracy*, *precision*, dan *recall*. *Accuracy* digunakan untuk mengukur tingkat ketepatan prediksi secara keseluruhan, *precision* untuk mengukur ketepatan prediksi pada masing-masing kelas, dan *recall* untuk mengukur kemampuan model dalam mengenali seluruh data pada kelas tertentu.

Gambar 10. Metrik Evaluasi Model

	Accuracy	Precision	Recall
Decision Tree	0.947573	0.947737	0.947643
Random Forest	0.972584	0.972545	0.972568
Logistic Regression	0.845838	0.846528	0.846095

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa *Random Forest* memperoleh performa tertinggi dengan nilai *accuracy* sebesar 97,26%, *precision* sebesar 97,25%, dan *recall* sebesar 97,26%. *Decision Tree* menunjukkan performa yang sedikit lebih rendah dengan *accuracy* sebesar 94,76%, namun masih berada pada tingkat performa yang baik dan stabil. Sementara itu, *Logistic Regression* memiliki performa terendah dibandingkan dua model lainnya, sehingga kurang optimal untuk digunakan dalam sistem grading buah manggis.

Meskipun *Random Forest* unggul secara metrik evaluasi, hasil implementasi model ini pada sistem grading menunjukkan kecenderungan prediksi yang kurang stabil dan sulit diinterpretasikan. Sebaliknya, *Decision Tree* menghasilkan prediksi

yang lebih konsisten dan mudah ditelusuri secara logis. Oleh karena itu, meskipun memiliki nilai metrik yang lebih rendah, *Decision Tree* dinilai lebih sesuai untuk implementasi sistem grading buah manggis berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini.

4.3 Analisis dan Interpretasi Hasil

Berdasarkan hasil evaluasi, *Random Forest* menunjukkan performa terbaik secara metrik dengan *nilai accuracy, precision, dan recall* yang lebih tinggi dibandingkan *Decision Tree* dan *Logistic Regression*. Hal ini menunjukkan bahwa *Random Forest* memiliki kemampuan yang baik dalam mempelajari pola data secara kompleks. Namun, hasil pengujian implementasi menunjukkan bahwa model ini menghasilkan prediksi yang kurang konsisten dan sulit diinterpretasikan ketika diterapkan langsung pada sistem *grading* buah manggis, sehingga pada beberapa kasus keputusan yang dihasilkan tidak selaras dengan karakteristik visual buah.

Sebaliknya, *Decision Tree* menunjukkan hasil prediksi yang lebih stabil dan konsisten dalam implementasi sistem nyata. Struktur pohon keputusan yang sederhana memungkinkan proses klasifikasi dapat ditelusuri secara logis dan mudah dipahami, serta lebih sesuai untuk sistem berbasis IoT dengan keterbatasan sumber daya. Oleh karena itu, meskipun memiliki nilai metrik yang lebih rendah dibandingkan *Random Forest*, *Decision Tree* dipilih sebagai model utama karena memberikan keseimbangan yang lebih baik antara performa, stabilitas prediksi, dan kemudahan implementasi dalam sistem grading buah manggis.

BAB 5

PEMBENTUKAN KNOWLEDGE BASE

Pada penelitian ini dikembangkan dua sistem pakar yang berdiri sendiri (independen), masing-masing memiliki tujuan, metode inferensi, dan *knowledge base* yang berbeda. Sistem pakar pertama digunakan untuk mendiagnosa penyakit pada tanaman manggis menggunakan pendekatan aturan tegas (*rule-based system*), sedangkan sistem pakar kedua digunakan untuk menentukan rekomendasi tindak lanjut dan segmentasi pasar buah manggis berdasarkan hasil grading menggunakan logika fuzzy dengan metode Mamdani. Pemisahan ini dilakukan karena karakteristik permasalahan dan tingkat ketidakpastian pada masing-masing sistem berbeda

5.1 Metode Akuisisi Pengetahuan

Akuisisi pengetahuan dilakukan untuk memperoleh informasi yang relevan sebagai dasar pembentukan *knowledge base* pada kedua sistem pakar. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, wawancara dan observasi pakar, serta analisis kebutuhan sistem sesuai dengan tujuan masing-masing sistem pakar.

5.1.1 Studi Literatur

Tabel 4. Studi Litaratur Diagnosa Penyakit Tanaman Manggis

Referensi (Sumber)	Penulis dan Tahun	Temuan Data
Penerapan Metode Certainty Factor pada Sistem Pakar Diagnosis Penyakit dan Hama Tanaman Manggis	Farha Fitrahul Janah, 2021	Mengidentifikasi 5 penyakit utama manggis beserta gejalanya; menggunakan metode CF untuk menilai tingkat keyakinan diagnosa.
Sistem Pakar Mendiagnosa Hama dan Penyakit pada Tanaman Garcinia Mangostana L	Nugroho & Santoso, 2020	Menyajikan daftar gejala penyakit manggis, metode CF untuk menilai probabilitas; akurasi validasi >80%.

Menggunakan Metode Certainty Factor		
Identifikasi Penyakit Busuk Buah Manggis di Kebun Raya Bogor	Rahayu, 2019	Menemukan beberapa penyakit buah manggis seperti busuk buah dan bercak daun, disertai deskripsi gejala visual dan faktor lingkungan penyebab.
Kajian Penyakit Batang dan Akar Manggis di Jawa Barat	Santika & Hadi, 2018	Mengidentifikasi penyakit kanker batang dan busuk akar pada manggis; memaparkan gejala, prevalensi, dan metode pengendalian alami.
Observasi Bercak Daun dan Jamur pada Tanaman Manggis	Widodo, 2017	Menemukan jenis jamur dan bercak daun yang menyerang manggis; memberikan deskripsi morfologi gejala dan tingkat keparahan pada musim hujan.

Tabel referensi di atas mencakup penelitian terkait penyakit dan gangguan biotik pada tanaman manggis, meliputi pengembangan sistem pakar dengan metode Certainty Factor untuk diagnosa penyakit (Farha Fitrahul Janah, 2021; Nugroho & Santoso, 2020) serta observasi langsung penyakit seperti busuk buah, bercak daun, kanker batang, dan busuk akar beserta gejala, prevalensi, dan faktor lingkungan (Rahayu, 2019; Santika & Hadi, 2018; Widodo, 2017).

Tabel 5. Studi Litaratur Rekomendasi Tindak Lanjut dan Segmentasi Pasar

Referensi (Sumber)	Penulis dan Tahun	Temuan Data
<i>Competitiveness Analysis and Factors That Affecting Indonesia's Export of Mangosteen in the International Market</i>	Ningrum, Kusnaman & Situmorang, 2024	Analisis daya saing ekspor manggis Indonesia dan faktor-faktor yang mempengaruhi performa ekspor; menemukan tren peningkatan ekspor, posisi kompetitif, dan rekomendasi penguatan pasar global.
<i>Analysis of the Level of Competitiveness of Indonesian Mangosteen, Mango, and Guava Exports in the International Market</i>	Christy & Budiningsih, 2024	Menunjukkan Indonesia memiliki keunggulan komparatif dan posisi kompetitif kuat di pasar ekspor buah manggis, mangga, dan jambu; relevan untuk strategi pemasaran dan penetrasi ekspor.
Upaya Optimalisasi Ekspor Buah Manggis Indonesia ke Tiongkok melalui ASEAN-China Free Trade Area (ACFTA)	Zaren & Renolafitri, 2025	Memberikan strategi optimalisasi ekspor manggis ke China melalui ACFTA, termasuk peningkatan mutu melalui sertifikasi, fasilitas pascapanen modern, efisiensi rantai pasok, serta diversifikasi produk.
Kajian Potensi Peningkatan Rantai Nilai Komoditas Manggis untuk Daya Saing di Pasar Internasional	Rahmatullah dkk., 2025	Mengkaji strategi peningkatan rantai nilai (value chain) manggis untuk memperkuat daya saing ekspor, termasuk perbaikan mutu dan penanganan pascapanen.

Analisis Kebutuhan dan Struktur Kelembagaan Rantai Pasok Buah Manggis di Kabupaten Pangandaran	Tarmana dkk., 2023	Mengidentifikasi struktur rantai pasok buah manggis, margin pasar, serta potensi penetapan grading untuk pasar ekspor vs pasar lokal; menunjukkan bahwa kualitas grade super → ekspor, grade B → pasar domestik.
--	--------------------	--

Tabel referensi di atas menunjukkan beberapa penelitian yang membahas rekomendasi tindak lanjut dan segmentasi pasar buah manggis. Secara umum, penelitian menekankan pentingnya peningkatan mutu buah, standarisasi grading, dan pengelolaan rantai pasok untuk memperkuat daya saing baik di pasar domestik maupun ekspor, khususnya pasar Asia dan China. Segmentasi pasar biasanya didasarkan pada ukuran, tingkat kematangan, warna kulit, dan kualitas grade buah manggis, dengan buah grade premium cenderung diarahkan ke ekspor dan grade B ke pasar lokal. Selain itu, sejumlah studi memberikan rekomendasi strategis praktis, seperti penerapan sertifikasi mutu, perbaikan fasilitas pascapanen, pengemasan, diversifikasi produk, serta kolaborasi antara pemerintah dan pelaku usaha untuk memperluas penetrasi pasar. Keseluruhan temuan ini dapat dijadikan dasar untuk pengambilan keputusan bisnis, kebijakan agribisnis, dan pengembangan strategi pemasaran buah manggis.

5.1.2 Wawancara dan Observasi Pakar

Wawancara dan observasi pakar dilakukan dengan narasumber tunggal, yaitu seorang pengepul buah manggis yang telah berpengalaman lebih dari 15 tahun di Kabupaten Puwakarta. Tujuan dari wawancara ini adalah untuk mendapatkan informasi mendalam mengenai grading buah manggis, strategi pemasaran, dan penyakit yang sering menyerang tanaman manggis. Informasi ini penting untuk mendukung analisis rantai pasok, identifikasi masalah dalam mutu buah, serta menyusun rekomendasi peningkatan kualitas dan strategi pemasaran yang tepat. Wawancara dilakukan secara langsung di lokasi pengepul dengan metode tanya jawab

terbuka, disertai observasi proses grading, pengemasan, dan penyimpanan buah, sehingga peneliti dapat melihat secara langsung praktik yang diterapkan di lapangan.

Dalam wawancara, narasumber menjelaskan bahwa proses grading buah manggis dilakukan secara manual oleh pekerja di lokasi pengepul dengan memperhatikan beberapa kriteria utama. Kriteria tersebut meliputi ukuran buah, warna kulit, kematangan, tingkat cacat atau kerusakan, serta kekencangan kulit buah. Buah dikategorikan menjadi grade super, grade A, dan grade B. Grade super biasanya diarahkan untuk pasar ekspor karena kualitasnya paling tinggi, grade A dijual ke pasar lokal dengan permintaan menengah, dan grade B umumnya dijual untuk pasar domestik atau diolah menjadi produk olahan. Selain itu, narasumber juga menekankan faktor yang dapat menurunkan mutu buah, seperti benturan saat transportasi, penyimpanan yang tidak tepat, dan panen yang terlambat. Observasi lapangan menunjukkan bahwa grading dilakukan secara konsisten namun tetap mengandalkan pengalaman pekerja, sehingga pelatihan tambahan dinilai penting untuk menjaga standar mutu.

Mengenai strategi pemasaran, narasumber menjelaskan bahwa segmentasi pasar dilakukan berdasarkan grade dan kualitas buah. Konsumen ekspor sangat memperhatikan ukuran dan tampilan buah, seperti kulit mulus, warna ungu pekat, dan ukuran >50 mm, sementara konsumen domestik lebih fleksibel dan sering menyesuaikan harga dengan kualitas. Narasumber juga menjelaskan strategi penentuan harga yang berbeda berdasarkan grade, serta kendala yang sering dihadapi seperti fluktuasi permintaan, transportasi yang kurang memadai, dan perubahan musim panen. Observasi juga menunjukkan bahwa pengemasan yang rapi dan penyimpanan di tempat teduh sangat membantu menjaga mutu hingga sampai ke konsumen.

Selain itu, wawancara juga membahas penyakit yang sering menyerang tanaman manggis. Narasumber menyebutkan beberapa penyakit yang umum ditemui, seperti busuk buah, bercak daun, dan kanker batang. Penyakit ini berpengaruh langsung pada hasil grading, karena buah yang terinfeksi biasanya langsung masuk grade B atau diolah menjadi produk turunan. Pencegahan dilakukan melalui pemangkasan rutin, penggunaan fungisida yang sesuai, panen tepat waktu, serta pemantauan intensif

terutama pada musim hujan yang meningkatkan risiko serangan jamur. Informasi ini juga digunakan sebagai acuan untuk seleksi buah saat grading, sehingga grade super tetap memenuhi standar kualitas ekspor

Tabel 6. Pertanyaan Wawancara Pakar

Topik	Pertanyaan	Jawaban Pakar / Temuan	Catatan / Analisis Singkat
Grading Buah	Kriteria utama grading	Ukuran, warna kulit, kematangan, cacat	Standarisasi grading penting untuk mutu dan konsistensi harga
	Jumlah grade	Grade super, grade A, grade B	Grade super untuk ekspor, grade B untuk domestik/olahan
	Proses grading	Manual, seleksi visual oleh pekerja	Perlu pelatihan agar grading konsisten
	Faktor penurunan mutu	Benturan, penyimpanan tidak tepat, buah terlalu matang	Penting pengemasan rapi dan penyimpanan sejuk
	Peran pengalaman pekerja	Pengalaman menentukan kecepatan dan ketelitian	Bisa digantikan/ditingkatkan dengan pelatihan dan SOP
	Penggunaan teknologi	Saat ini masih manual; beberapa mencoba timbangan dan ukuran digital	Potensi pengembangan grading otomatis

Pemasaran	Segmentasi pasar	Ekspor → premium, domestik → standar/grade B	Sesuai permintaan konsumen dan harga
	Preferensi konsumen ekspor	Ukuran >50 mm, kulit mulus, ungu pekat	Standar visual ketat untuk ekspor
	Strategi penentuan harga	Harga berbeda sesuai grade	Membantu optimasi keuntungan
	Kendala pemasaran	Fluktuasi permintaan, transportasi, musim panen	Perlu kerja sama rantai pasok dan logistik efisien
	Strategi promosi	Mengikuti pameran, rekomendasi dari eksportir	Meningkatkan pasar ekspor
Penyakit	Jenis penyakit yang sering muncul	Busuk buah, bercak daun, kanker batang	Pengendalian dini penting agar grade super tetap aman
	Dampak penyakit pada grading	Busuk buah, kanker batang, busuk akar, jamur upas, bercak daun	Menurunkan jumlah grade super
	Pencegahan	Pemangkasan rutin, fungisida, panen tepat waktu	Membantu menjaga kualitas buah

	Pengaruh musim	Musim hujan meningkatkan risiko jamur dan bercak daun	Perlu pemantauan intensif saat musim hujan
	Pemantauan penyakit	Dilakukan saat panen dan sebelum grading	Menjamin grade super tetap aman

Dari wawancara dan observasi ini, dapat disimpulkan bahwa grading buah, strategi pemasaran, dan pengendalian penyakit saling terkait dan sangat memengaruhi mutu, harga, dan kepuasan konsumen. Informasi ini menjadi dasar penting dalam penyusunan rekomendasi peningkatan kualitas buah manggis, efisiensi rantai pasok, dan strategi pemasaran untuk pasar lokal maupun ekspor.

5.1.3 Variable Fuzzy

Pada sistem pakar yang dikembangkan dalam penelitian ini, proses evaluasi kualitas buah manggis dilakukan berdasarkan grade buah yang dipilih oleh pengguna. Grade buah ditentukan terlebih dahulu sebelum proses inferensi *fuzzy* dilakukan. Dengan demikian, sistem tidak mengevaluasi seluruh grade secara bersamaan, melainkan menganalisis kondisi fisik buah pada satu grade tertentu.

Pengguna sistem diminta untuk memilih grade buah (Grade A, Grade B, atau Grade C) yang akan dianalisis. Setiap grade merepresentasikan tingkat kematangan dan kualitas awal buah yang berbeda, sehingga memiliki aturan keputusan (rule base) yang berbeda pada sistem pakar.

1. Mekanisme Pemilihan Grade

Tahap awal penggunaan sistem adalah pemilihan grade buah oleh pengguna. Pemilihan grade ini bersifat crisp (tegas) dan tidak diproses secara fuzzy. Grade berfungsi sebagai parameter pengendali yang menentukan kumpulan aturan fuzzy yang akan digunakan dalam proses inferensi. Grade buah yang digunakan dalam sistem terdiri dari:

- Grade A: buah dengan tingkat kematangan dan kualitas tinggi.

- Grade B: buah dengan kualitas menengah.
- Grade C: buah dengan kualitas rendah atau belum matang sempurna.

Setelah grade dipilih, sistem hanya akan menggunakan basis aturan yang sesuai dengan grade tersebut.

2. Variabel Fuzzy Input per Grade

Variabel fuzzy input yang digunakan pada sistem ini sama untuk setiap grade, namun nilai dan interpretasinya dievaluasi khusus pada buah dalam grade yang dipilih. Variabel fuzzy input tersebut meliputi:

- Busuk
- Cacat
- Cuping

Setiap variabel memiliki semesta pembicaraan 0–100 persen dan dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Nilai yang dimasukkan pengguna merepresentasikan kondisi fisik buah pada grade yang dipilih, bukan keseluruhan buah hasil sortir.

3. Variabel Fuzzy Output per Grade

Variabel fuzzy output pada sistem ini adalah keputusan, yang menunjukkan rekomendasi penanganan atau tujuan pasar buah manggis. Meskipun variabel output yang digunakan sama, makna keputusan dan kemungkinan hasilnya berbeda untuk setiap grade, sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh pakar.

Sebagai contoh:

- Pada Grade A, keputusan dapat berupa ekspor, lokal, atau olahan.
- Pada Grade B, keputusan dibatasi pada lokal atau olahan.
- Pada Grade C, keputusan berupa ditunda hingga matang atau olahan.

Pembatasan ini dilakukan untuk memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan sistem sesuai dengan kondisi biologis dan standar mutu masing-masing grade.

5.1.4 Aturan IF-THEN

Aturan IF-THEN pada penelitian ini disusun untuk dua tujuan sistem pakar yang berbeda, yaitu diagnosis penyakit tanaman manggis dan penentuan rekomendasi penanganan buah berdasarkan grade. Aturan-aturan ini dibentuk berdasarkan hasil studi literatur dan validasi pakar.

Tabel 7. Aturan IF-THEN Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis

No	Penyakit	Gejala (IF)	THEN (Kemungkinan Penyakit)
1	Busuk Buah	G01: Kulit buah tampak kehitaman dan mengkilat G02: Kulit buah berubah warna G03: Buah matang membusuk setelah dipetik G04: Pangkal buah dan tangkai menghitam G05: Warna hitam meluas ke seluruh buah	Busuk Buah
2	Kanker Batang	G06: Kulit batang atau cabang kering G07: Daun menjadi pucat G08: Batang mengeluarkan getah G09: Warna batang berubah G10: Bunga tidak normal G11: Buah tidak normal G12: Daun kering dan rontok G13: Getah menggumpal di bawah kulit	Kanker Batang
3	Busuk Akar	G14: Jamur pada akar G15: Titik hitam pada kayu akar G16: Daun menguning dan layu	Busuk Akar

		G12: Daun kering dan rontok	
4	Jamur Upas	G17: Jamur seperti benang perak G18: Jamur menjadi kerak merah G19: Cabang tanaman mati	Jamur Upas
5	Bercak Daun	G12: Daun kering dan rontok G20: Bercak tidak beraturan pada daun G21: Bercak kelabu atau coklat G22: Ujung daun mengering G23: Bercak menjalar G24: Daun menggulung G25: Hitam di sisi daun	Bercak Daun

Tabel ini menyajikan aturan diagnosis penyakit tanaman manggis yang menghubungkan gejala (IF) dengan kemungkinan penyakit (THEN). Aturan ini digunakan pada sistem pakar diagnosis penyakit yang bersifat non-fuzzy dan bekerja secara deterministik. Aturan diagnosis ini memungkinkan sistem mengidentifikasi jenis penyakit berdasarkan kombinasi gejala yang diamati pada tanaman manggis.

Tabel 8. Aturan IF–THEN Rekomendasi Tindak Lanjut dan Segmentasi Pasar

Grade	Rule	Kondisi Buah	Keputusan
A	A1	Busuk RENDAH AND Cacat RENDAH AND Cuping RENDAH	EKSPOR
A	A2	Busuk RENDAH AND Cacat SEDANG AND Cuping RENDAH	LOKAL
A	A3	Busuk SEDANG AND Cacat SEDANG	LOKAL
A	A4	Busuk TINGGI OR Cacat TINGGI OR Cuping TINGGI	OLAHAN
B	B1	Busuk RENDAH AND Cacat RENDAH AND Cuping RENDAH	LOKAL

B	B2	Busuk SEDANG AND Cacat SEDANG	LOKAL
B	B3	Busuk SEDANG OR Cacat TINGGI OR Cuping TINGGI	OLAHAN
B	B4	Busuk TINGGI	OLAHAN
C	C1	Busuk RENDAH AND Cacat RENDAH AND Cuping RENDAH	DITUNDA
C	C2	Busuk SEDANG AND Cacat RENDAH	DITUNDA
C	C3	Busuk SEDANG OR Cacat SEDANG OR Cuping TINGGI	OLAHAN
C	C4	Busuk TINGGI OR Cacat TINGGI	OLAHAN

Tabel ini menyajikan aturan IF–THEN berbasis logika fuzzy yang digunakan untuk menentukan rekomendasi penanganan atau tujuan pasar buah manggis berdasarkan grade buah dan kondisi fisik buah. Aturan disusun secara terpisah untuk setiap grade guna memastikan keputusan yang dihasilkan sesuai dengan standar mutu masing-masing grade. Aturan-aturan tersebut digunakan dalam proses inferensi fuzzy Mamdani untuk menghasilkan keputusan akhir yang kemudian didefuzzifikasi menjadi rekomendasi yang bersifat tegas.

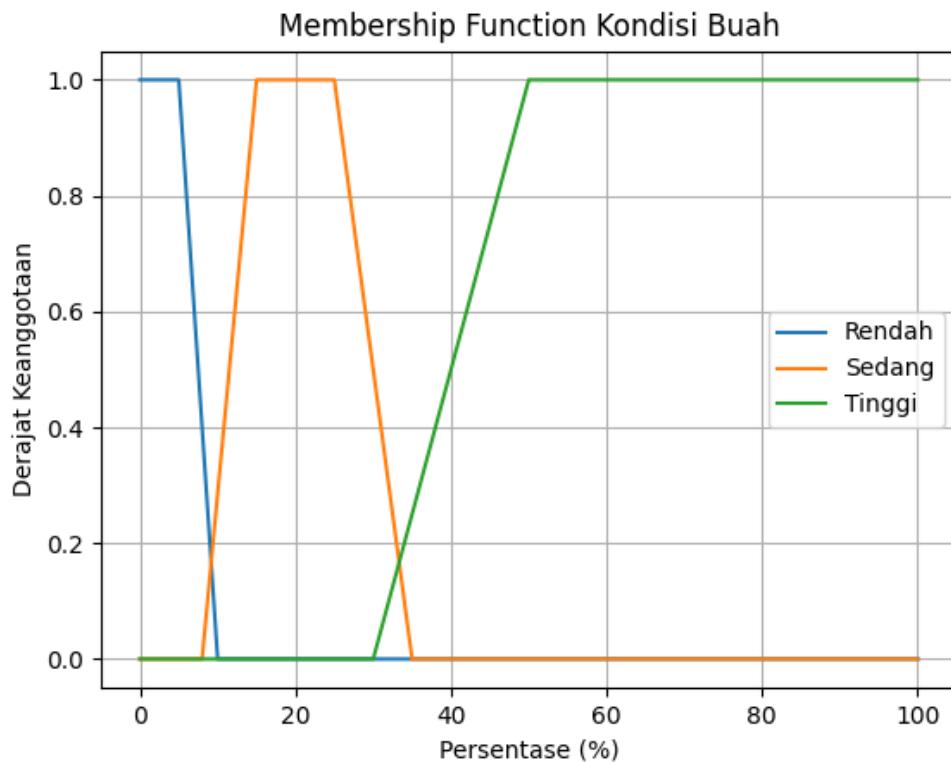
BAB 6

IMPLEMENTASI LOGIKA FUZZY

6.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan digunakan untuk menggambarkan hubungan antara nilai input berupa persentase kondisi buah dengan derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy. Pada sistem ini, fungsi keanggotaan diterapkan pada variabel kondisi buah yang meliputi busuk, cacat, dan cuping.

Gambar 11. Membership Function Kondisi Buah



Berdasarkan Gambar variabel kondisi buah dibagi ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Masing-masing himpunan fuzzy direpresentasikan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium. Bentuk ini dipilih karena mampu merepresentasikan pengetahuan pakar secara fleksibel dan memungkinkan terjadinya tumpang tindih antar himpunan.

Pada sumbu horizontal ditunjukkan nilai persentase kondisi buah (0–100%), sedangkan sumbu vertikal menunjukkan derajat keanggotaan dengan rentang nilai antara 0 hingga 1. Satu nilai persentase dapat memiliki lebih dari satu derajat

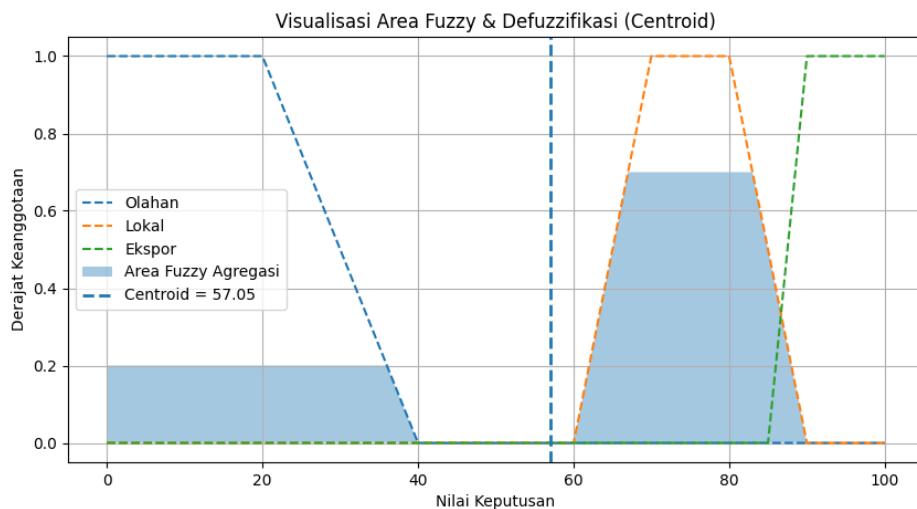
keanggotaan, sehingga sistem mampu menangani kondisi yang bersifat tidak pasti atau berada di antara dua kategori.

Sebagai contoh, apabila nilai kondisi buah berada pada kisaran menengah, maka nilai tersebut dapat memiliki derajat keanggotaan tertentu pada himpunan rendah dan sedang secara bersamaan. Hal ini mencerminkan cara berpikir pakar dalam menilai kualitas buah yang tidak bersifat tegas.

6.2 Mekanisme Inferensi dan Defuzzifikasi

Mekanisme inferensi pada sistem ini menggunakan metode fuzzy Mamdani. Proses inferensi dilakukan setelah pengguna memilih grade buah yang akan dianalisis dan memasukkan nilai kondisi fisik buah sesuai dengan grade tersebut

Gambar 12. Visualisasi Area Fuzzy dan Defuzzifikasi (Centroid)



Berdasarkan Gambar proses inferensi dimulai dengan mengaktifkan aturan fuzzy yang relevan sesuai dengan nilai keanggotaan hasil fuzzifikasi. Setiap aturan menghasilkan tingkat aktivasi tertentu yang diperoleh dari kombinasi derajat keanggotaan menggunakan operator logika fuzzy.

Operator yang digunakan dalam proses inferensi adalah:

- Operator AND menggunakan nilai minimum (MIN)
- Operator OR menggunakan nilai maksimum (MAX)

Keluaran dari setiap aturan berupa himpunan fuzzy output yang telah dipotong sesuai dengan tingkat aktivasi aturan tersebut. Selanjutnya, seluruh keluaran aturan

digabungkan melalui proses agregasi untuk membentuk satu himpunan fuzzy output yang ditunjukkan oleh area berwarna biru pada gambar.

Tahap selanjutnya adalah defuzzifikasi, yaitu proses untuk mengubah himpunan fuzzy output menjadi satu nilai tegas. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode centroid, yang menghitung titik pusat dari area hasil agregasi. Pada Gambar 1.2, nilai centroid ditunjukkan oleh garis vertikal yang berada pada nilai 57,05, yang merupakan hasil akhir perhitungan sistem.

6.3 Penyajian Hasil Inferensi

Hasil inferensi sistem pakar fuzzy disajikan dalam bentuk nilai keputusan dan rekomendasi penanganan buah manggis berdasarkan grade dan kondisi fisik buah yang dianalisis. Nilai keputusan diperoleh dari proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid dan berada pada rentang 0 hingga 100. Nilai tersebut kemudian diinterpretasikan menjadi rekomendasi sistem sesuai dengan grade buah yang dipilih oleh pengguna.

Tabel 9. Hasil Penyajian Inferensi Sistem Pakar Fuzzy

No	Grade	Busuk (%)	Cacat (%)	Cuping (%)	Nilai Keputusan	Rekomendasi
1	A	5	5	3	85,42	Ekspor
2	A	12	10	8	68,75	Lokal
3	B	10	12	10	57,05	Lokal
4	B	25	20	18	38,60	Olahan
5	C	5	4	3	52,10	Ditunda Hingga Matang
6	C	18	15	12	34,25	Olahan

Berdasarkan Tabel 9. sistem pakar fuzzy mampu menghasilkan keputusan yang berbeda sesuai dengan variasi kondisi fisik buah dan grade yang dianalisis. Pada Grade A, buah dengan kondisi fisik yang baik menghasilkan nilai keputusan tinggi dan direkomendasikan untuk pasar eksport, sedangkan peningkatan tingkat kerusakan

menyebabkan penurunan nilai keputusan dan perubahan rekomendasi menjadi pasar lokal.

Pada Grade B, hasil inferensi menunjukkan bahwa buah dengan tingkat kerusakan menengah masih layak dipasarkan di pasar lokal. Namun, ketika kondisi fisik buah memburuk, nilai keputusan menurun dan sistem merekomendasikan penanganan berupa produk olahan.

Sementara itu, pada Grade C, buah dengan kondisi fisik baik namun belum matang sempurna direkomendasikan untuk ditunda pemasarannya. Apabila tingkat kerusakan meningkat, sistem secara konsisten merekomendasikan pengolahan sebagai alternatif penanganan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pakar fuzzy mampu menghasilkan keputusan yang logis dan konsisten berdasarkan kondisi fisik buah pada setiap grade.

BAB 7

ANALISIS, PEGUJIAN, DAN KESIMPULAN

7.1 Analisis Kinerja Machine Learning

Analisis dilakukan terhadap model terpilih yang sebelumnya telah melalui tahap pelatihan dan pengujian pada bab metodologi. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan model dalam melakukan prediksi berdasarkan data uji serta meninjau kelebihan dan keterbatasan model dalam konteks permasalahan yang diteliti.

7.1.1 Model Machine Learning Terpilih

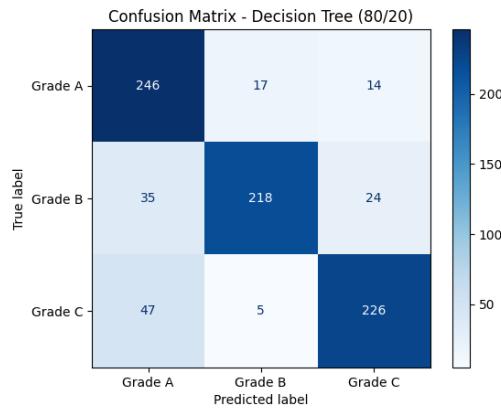
Berdasarkan hasil pengujian dan perbandingan beberapa algoritma machine learning yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, *Decision Tree* dipilih sebagai model machine learning yang diimplementasikan dalam sistem. Pemilihan model ini didasarkan pada keseimbangan antara performa klasifikasi yang baik, stabilitas prediksi, serta kemudahan interpretasi model.

Meskipun Random Forest menunjukkan nilai metrik evaluasi yang lebih tinggi, hasil implementasi menunjukkan bahwa Decision Tree menghasilkan prediksi yang lebih konsisten dan mudah ditelusuri secara logis. Hal ini menjadikan Decision Tree lebih sesuai untuk diterapkan pada sistem grading buah manggis berbasis IoT yang membutuhkan transparansi dan efisiensi komputasi. Model Decision Tree dilatih menggunakan 80% data latih dan diuji menggunakan 20% data uji dari total dataset. Pembagian data ini dilakukan untuk memastikan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik terhadap data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

7.1.2 Hasil Pengujian Model

Hasil pengujian model machine learning terpilih menunjukkan bahwa Decision Tree mampu memberikan performa klasifikasi yang baik terhadap data uji. Nilai evaluasi model yang meliputi accuracy, precision, dan recall disajikan pada gambar 10. yang menunjukkan bahwa sebagian besar data uji dapat diprediksi dengan benar oleh model.

Gambar 13. Confusion Matrix Decision Tree



Untuk memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai performa klasifikasi pada setiap kelas mutu, hasil pengujian juga divisualisasikan dalam bentuk confusion matrix, seperti ditunjukkan pada Gambar 13 Confusion matrix tersebut memperlihatkan hubungan antara label sebenarnya dan label hasil prediksi model untuk masing-masing kelas mutu buah manggis.

Berdasarkan confusion matrix, terlihat bahwa model mampu mengklasifikasikan sebagian besar data Grade A, Grade B, dan Grade C dengan benar. Nilai diagonal yang tinggi menunjukkan jumlah prediksi yang tepat pada masing-masing kelas. Kesalahan prediksi yang terjadi umumnya disebabkan oleh kemiripan karakteristik visual antar kelas yang berdekatan, seperti antara Grade A dan Grade B atau antara Grade B dan Grade C. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model Decision Tree memiliki kemampuan yang baik dalam membedakan mutu buah manggis dan layak digunakan sebagai bagian dari sistem pendukung keputusan yang dikembangkan.

7.2 Pengujian Kinerja Sistem Pakar

Pada penelitian ini dikembangkan dua sistem pakar yang berbeda dan berdiri secara independen, yaitu sistem pakar diagnosis penyakit tanaman manggis berbasis aturan tegas (*non-fuzzy*) dan sistem pakar berbasis logika *fuzzy Mamdani* untuk rekomendasi penanganan dan tujuan pasar buah manggis. Pengujian kinerja sistem pakar dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan masing-masing sistem dalam

menghasilkan keputusan yang sesuai dengan pengetahuan pakar dan tujuan perancangannya.

Pengujian sistem pakar bertujuan untuk memastikan bahwa knowledge base dan aturan IF–THEN yang telah disusun mampu merepresentasikan cara berpikir pakar secara tepat. Berbeda dengan pengujian model machine learning yang menggunakan metrik statistik, evaluasi sistem pakar difokuskan pada kesesuaian keputusan sistem dengan keputusan pakar sebagai acuan (*ground truth*).

7.2.1 Metode Pengujian Sistem Pakar

Metode pengujian sistem pakar dilakukan menggunakan sejumlah data uji yang merepresentasikan kondisi nyata sesuai dengan ruang lingkup penelitian. Untuk sistem pakar diagnosis penyakit tanaman manggis, data uji berupa kombinasi gejala penyakit yang umum dijumpai di lapangan. Setiap data uji mencakup beberapa gejala yang kemudian digunakan sebagai input sistem.

Sementara itu, untuk sistem pakar fuzzy rekomendasi penanganan buah manggis, data uji berupa nilai kondisi fisik buah, yaitu tingkat busuk, cacat, dan cuping, serta grade buah yang dipilih oleh pengguna. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam sistem untuk diproses melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi Mamdani, dan defuzzifikasi. Pada masing-masing pengujian, hasil keputusan yang diberikan oleh sistem dicatat dan dibandingkan dengan keputusan pakar untuk selanjutnya dianalisis tingkat kesesuaian..

7.2.2 Parameter Evaluasi Sistem Pakar

Evaluasi kinerja kedua sistem pakar dilakukan dengan membandingkan hasil keputusan sistem terhadap keputusan pakar yang dijadikan sebagai ground truth. Parameter evaluasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah tingkat kesesuaian keputusan, yang dihitung berdasarkan persentase jumlah keputusan sistem yang sesuai dengan keputusan pakar dibandingkan dengan total data uji.

Pendekatan evaluasi ini dipilih karena tujuan utama sistem pakar adalah meniru proses pengambilan keputusan seorang pakar, bukan untuk menghasilkan prediksi statistik. Oleh karena itu, tingkat kesesuaian keputusan dianggap sebagai indikator

yang paling relevan untuk menilai keberhasilan sistem pakar, baik untuk diagnosis penyakit maupun rekomendasi penanganan buah manggis.

7.2.3 Hasil Pengujian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis

Hasil pengujian sistem pakar diagnosis penyakit tanaman manggis ditunjukkan pada Tabel 10. Tabel tersebut menyajikan perbandingan antara diagnosis yang diberikan oleh sistem dengan diagnosis pakar berdasarkan kombinasi gejala yang diuji.

Tabel 10. Hasil Pengujian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Tanaman Manggis

No	ID Kasus	Gejala Utama (Ringkas)	Diagnosis Pakar	Diagnosis Sistem	Kesesuaian
1	K01	G01, G02, G03	Busuk Buah	Busuk Buah	Sesuai
2	K02	G06, G08, G13	Kanker Batang	Kanker Batang	Sesuai
3	K03	G14, G16	Busuk Akar	Busuk Akar	Sesuai
4	K04	G17, G19	Jamur Upas	Jamur Upas	Sesuai
5	K05	G20, G22	Bercak Daun	Bercak Daun	Sesuai
6	K06	G01, G04, G05	Busuk Buah	Busuk Buah	Sesuai
7	K07	G06, G07, G10	Kanker Batang	Kanker Batang	Sesuai
8	K08	G14, G15	Busuk Akar	Busuk Akar	Sesuai
9	K09	G17, G18	Jamur Upas	Jamur Upas	Sesuai
10	K10	G20, G21, G25	Bercak Daun	Bercak Daun	Sesuai
11	K11	G12, G22	Bercak Daun	Busuk Buah	Tidak Sesuai
12	K12	G01, G03	Busuk Buah	Busuk Buah	Sesuai

13	K13	G06, G08	Kanker Batang	Kanker Batang	Sesuai
14	K14	G14, G16	Busuk Akar	Busuk Akar	Sesuai
15	K15	G17, G19	Jamur Upas	Jamur Upas	Sesuai
16	K16	G20, G24	Bercak Daun	Bercak Daun	Sesuai
17	K17	G01, G02	Busuk Buah	Busuk Buah	Sesuai
18	K18	G06, G13	Kanker Batang	Kanker Batang	Sesuai
19	K19	G14, G15	Busuk Akar	Busuk Akar	Sesuai
20	K20	G20, G25	Bercak Daun	Bercak Daun	Sesuai

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sebagian besar diagnosis yang dihasilkan oleh sistem pakar sesuai dengan diagnosis pakar. Hal ini menunjukkan bahwa aturan *IF-THEN* yang disusun telah mampu merepresentasikan hubungan antara gejala dan penyakit tanaman manggis secara tepat. Ringkasan tingkat kesesuaian keputusan sistem pakar diagnosis penyakit disajikan pada Tabel 7.11.

Tabel 11. Rekapitulasi Tingkat Kesesuaian Sistem Pakar Diagnosis Penyakit

Jumlah Data Uji	Jumlah Sesuai	Jumlah Tidak Sesuai	Tingkat Kesesuaian (%)
20	19	1	95%

7.2.4 Hasil Pengujian Sistem Pakar Fuzzy Rekomendasi Penanganan Buah Manggis

Pengujian sistem pakar fuzzy dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memberikan rekomendasi penanganan dan tujuan pasar buah manggis berdasarkan grade buah dan kondisi fisik buah. Hasil pengujian sistem pakar fuzzy ditunjukkan pada Tabel 7.Z.

Tabel 12. Hasil Pengujian Sistem Pakar Fuzzy Rekomendasi Penanganan Buah Manggis

ID Kasus	Grade	Busuk (%)	Caca (%)	Cupинг (%)	Keputusan Pakar	Keputusan Sistem	Kesesuaian
F01	A	10	5	5	Ekspor	Ekspor	Sesuai
F02	A	15	25	10	Lokal	Lokal	Sesuai
F03	A	30	20	15	Lokal	Lokal	Sesuai
F04	A	40	35	30	Olahan	Olahan	Sesuai
F05	B	20	15	10	Lokal	Lokal	Sesuai
F06	B	35	30	25	Lokal	Lokal	Sesuai
F07	B	45	40	35	Olahan	Olahan	Sesuai
F08	C	10	10	5	Ditunda	Ditunda	Sesuai
F09	C	25	20	15	Ditunda	Ditunda	Sesuai
F10	C	30	25	20	Ditunda	Ditunda	Sesuai
F11	C	40	35	30	Olahan	Olahan	Sesuai
F12	C	55	50	45	Olahan	Olahan	Sesuai
F13	B	50	45	40	Olahan	Olahan	Sesuai
F14	A	20	15	10	Lokal	Lokal	Sesuai
F15	A	35	30	25	Olahan	Olahan	Sesuai
F16	B	25	20	15	Lokal	Lokal	Sesuai
F17	C	15	10	10	Ditunda	Ditunda	Sesuai
F18	B	40	35	30	Olahan	Olahan	Sesuai
F19	A	10	10	5	Ekspor	Ekspor	Sesuai
F20	C	60	55	50	Olahan	Olahan	Sesuai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pakar fuzzy mampu memberikan rekomendasi yang sesuai dengan keputusan pakar pada sebagian besar data uji. Hal ini menunjukkan bahwa variabel fuzzy, fungsi keanggotaan, serta aturan fuzzy Mamdani

yang digunakan telah dirancang dengan baik. Ringkasan tingkat kesesuaian keputusan sistem pakar *fuzzy* disajikan pada Tabel 7.13.

Tabel 13. Rekapitulasi Tingkat Kesesuaian Sistem Pakar Rekomendasi Penanganan Buah Manggis

Jumlah Data Uji	Jumlah Sesuai	Jumlah Tidak Sesuai	Tingkat Kesesuaian (%)
20	20	0	100%

7.2.5 Analisis Hasil Pengukuran Sistem Pakar

Berdasarkan hasil pengujian kedua sistem pakar, dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menghasilkan keputusan yang konsisten dan sesuai dengan pengetahuan pakar. Sistem pakar diagnosis penyakit menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi penyakit tanaman manggis berdasarkan gejala yang diberikan, sedangkan sistem pakar *fuzzy* mampu memberikan rekomendasi penanganan buah yang sesuai dengan grade dan kondisi fisik buah.

Dengan demikian, kedua sistem pakar yang dikembangkan dinilai layak digunakan sebagai sistem pendukung keputusan, baik untuk membantu diagnosis penyakit tanaman manggis maupun untuk menentukan rekomendasi penanganan dan tujuan pasar buah manggis.

7.3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem klasifikasi mutu buah manggis berbasis pengolahan citra dan machine learning klasik berhasil dikembangkan dengan memanfaatkan fitur warna RGB dan tekstur GLCM. Dari hasil perbandingan beberapa algoritma, Decision Tree dipilih sebagai model utama karena menghasilkan prediksi yang stabil, mudah diinterpretasikan, dan sesuai untuk implementasi pada sistem berbasis IoT.
2. Sistem pakar diagnosis penyakit tanaman manggis berbasis aturan tegas (rule-based system) berhasil dibangun dan mampu memberikan diagnosis penyakit berdasarkan gejala yang diinputkan pengguna. Sistem ini menunjukkan tingkat

kesesuaian keputusan yang baik terhadap keputusan pakar, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal penyakit tanaman manggis.

3. Sistem pakar berbasis logika fuzzy dengan metode inferensi Mamdani berhasil digunakan untuk memberikan rekomendasi penanganan dan tujuan pasar buah manggis berdasarkan grade dan kondisi fisik buah. Sistem ini mampu menangani ketidakpastian dalam penilaian kualitas buah dan menghasilkan rekomendasi yang sesuai dengan standar mutu masing-masing grade.
4. Pengujian kinerja sistem menunjukkan bahwa integrasi antara machine learning, sistem pakar, dan sistem IoT dapat berjalan dengan baik. Sistem secara keseluruhan mampu berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan untuk membantu proses grading, diagnosis, dan penanganan buah manggis secara terstruktur.

7.4 Saran

Berdasarkan keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian ini, beberapa saran untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data citra yang diperoleh langsung dari sistem IoT dalam jumlah yang lebih besar dan beragam agar performa model machine learning dapat ditingkatkan dan lebih representatif terhadap kondisi lapangan.
2. Sistem pakar diagnosis penyakit dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan fuzzy atau metode probabilistik untuk menangani ketidakpastian gejala secara lebih fleksibel dan meningkatkan akurasi diagnosis.
3. Penambahan parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan kondisi cuaca disarankan untuk meningkatkan kualitas diagnosis penyakit serta rekomendasi penanganan buah manggis.
4. Sistem dapat dikembangkan ke tahap implementasi skala industri dengan pengujian performa secara real-time dan integrasi dengan sistem monitoring serta manajemen rantai pasok.

LAMPIRAN

Link GitHub : https://github.com/agnessieana/manggis_sorting-ft.nina.git

Nama	Pembagian Tugas
Muzakki Al'Aarif	Bertanggung jawab dalam pembangunan protokol Internet of Things (IoT), mengintegrasikan sistem IoT dengan model machine learning, serta membantu proses perancangan dan pembuatan wiring perangkat keras.
Nina Herlina	Mengumpulkan dan menyiapkan dataset buah manggis, membangun model machine learning klasik untuk klasifikasi, serta merancang dan mengimplementasikan sistem pakar rekomendasi pemasaran buah manggis berbasis logika fuzzy.
Agnes Sabilia Arrahma	Mengumpulkan dataset buah manggis, membangun model machine learning klasik, serta mengembangkan sistem pakar untuk prediksi penyakit pada tanaman manggis.
Alfarizi Khoerul Rizal	Merancang dan membangun sistem pakar, melakukan integrasi sistem IoT dengan machine learning, serta mengintegrasikan sistem pakar dengan perangkat IoT agar dapat bekerja secara terpadu.
Muhammad Kautsar	Membantu proses integrasi sistem IoT, serta berperan dalam pembangunan alat dan perancangan wiring perangkat keras.
Yoga Dimasya	Membantu proses perakitan wiring serta melakukan troubleshooting pada perangkat keras (hardware).
M. Dimas Saputra	Membantu melakukan troubleshooting dan pengujian perangkat keras untuk memastikan sistem berjalan dengan baik.
M. Haidar Ali P.S.	Berperan dalam troubleshooting perangkat keras dan membantu penyelesaian permasalahan teknis pada alat.
M. Fikri Saifullah	Membantu proses troubleshooting perangkat keras selama tahap perakitan dan pengujian sistem.
M. Raihan Taqwa	Membantu troubleshooting dan perbaikan perangkat keras untuk mendukung kestabilan sistem.
Nabil Bagus Satrio	Membantu troubleshooting perangkat keras serta mendukung proses pengujian alat.
Syahriza Ramadhani Z.F.	Membantu troubleshooting perangkat keras dan memastikan alat berfungsi sesuai spesifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access*, 7, 129551–129583. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932609>
- Haq, Z. A., Jaffery, Z. A., Mehfuz, S., & Scholar, R. (2025). Feature Based Fruit Classification using Machine Learning Algorithms: A Comparison. In © 2025 IJRTI | (Vol. 10). www.ijrti.org
- Ningrum, H., Kusnaman, D., & Situmorang, S. (2024). COMPETITIVENESS ANALYSIS AND FACTORS THAT AFFECTING INDONESIA'S EXPORT OF MANGOSTEEN IN THE INTERNATIONAL MARKET. *Journal of Agri Socio Economic and Business*, 6(1), 95–112. <https://doi.org/10.31186/jaseb.6.1.95-112>
- Petropoulos, T., Benos, L., Berruto, R., Miserendino, G., Marinoudi, V., Busato, P., Zisis, C., & Bochtis, D. (2025). Interpretable Machine Learning for Legume Yield Prediction Using Satellite Remote Sensing Data. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/app15137074>
- Quy, V. K., Hau, N. Van, Anh, D. Van, Quy, N. M., Ban, N. T., Lanza, S., Randazzo, G., & Muzirafuti, A. (2022). IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12073396>
- Rahmatullah, A. A., Ghausan, M., Lestari, S. B., & Ernah. (2025). Kajian Potensi Peningkatan Rantai Nilai Komoditas Manggis (*Garcinia mangostana* L) untuk Daya Saing di Pasar Internasional. *RADIKULA: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4(1), 20–26. <https://doi.org/10.70609/radikula.v4i1.7364>
- Riyadi, S., Damarjati, C., Primas, N., Hariadi, T. K., Prabasari, I., Utama, N. A., & Ku-Mahamod, K. R. (2021). Classification of Mangosteen Surface Quality Based on Image Processing Using Support Vector Machine. *International Journal of Integrated Engineering*, 13(5), 288–294. <https://doi.org/10.30880/IJIE.2021.13.05.029>
- Riyadi, S., Ratiwi, A. M. A., Damarjati, C., Hariadi, T. K., Prabasari, I., & Utama, N. A. (2020). Classification of Mangosteen Surface Quality Using Principal Component Analysis. *Emerging Information Science and Technology*, 1(1). <https://doi.org/10.18196/eist.115>
- Sarker, I. H. (2021). Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions. In *SN Computer Science* (Vol. 2, Issue 3). Springer. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x>

- Thammastitkul, A., & Klayjumlangn, T. (2021). *Mangosteen Quality Grading for Export Markets Using Digital Image Processing Techniques*. 11(6).
- Tian, H., Wang, T., Liu, Y., Qiao, X., & Li, Y. (2020). Computer vision technology in agricultural automation —A review. In *Information Processing in Agriculture* (Vol. 7, Issue 1, pp. 1–19). China Agricultural University. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.09.006>
- Zikri, M., & Hakimi, R. (2025). Overview Of Mangosteen Exports In West Sumatra Province. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 51(1), 1–07. <https://ijpsat.org/>
- Zulnardi, A., & Udjulawa, D. (2023). Identify the Maturity Level of Apples Using Fuzzy Logic Mamdani 1. In *Jurnal Teknik Indonesia* (Vol. 2, Issue 2). [https://jurnal.seaninstitute.or.id/index.php/juti](https://jurnal.seaninstitute.or.id/index.php/jutip58Journalhomepage:https://jurnal.seaninstitute.or.id/index.php/juti)