

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

RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI KEMATANGAN BUAH PISANG BERBASIS ESP32-CAM DAN *EDGE IMPULSE*

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

ADASRA PRATAMA

11850512433

UIN SUSKA RIAU

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU PEKANBARU**

2025

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

LEMBAR PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI KEMATANGAN BUAH PISANG MENGGUNAKAN ESP32-CAM DAN *EDGE IMPULSE*

TUGAS AKHIR

Oleh :

ADASRA PRATAMA
11850512433

Telah diperiksa dan disetujui sebagai Laporan Tugas Akhir
Program Studi Teknik Elektro Di Pekanbaru, Pada Tanggal 11 Juli 2025

Ketua Program Studi

Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

Pembimbing

Ir. Oktaf Brillian Kharisma, S.T., M.T.
NIP. 19841012 201503 1 003

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI KEMATANGAN BUAH PISANG MENGGUNAKAN ESP32-CAM DAN *EDGE IMPULSE*

TUGAS AKHIR

Oleh:

ADASRA PRATAMA
11850512433

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada Tanggal 11 Juli 2025

Pekanbaru, 11 Juli 2025

Mengesahkan



Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M. Sc.
NIP. 49770103 200710 2 001

Ketua Program Studi



Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T.
NIP. 19721021 200604 2 001

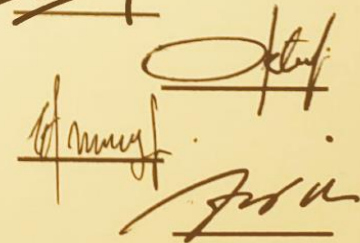
Dewan Penguji :

Ketua Sidang : Sutoyo, S.T., M.T.

Sekretaris : Ir. Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T.

Anggota 1 : Ewi Ismaredah, S.Kom., M. Kom.

Anggota 2 : Abdillah, S.Si., M.I.T.

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

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan dengan mengikuti kaidah pengutipan yang berlaku.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Penulis

Adasra Pratama

UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Lampiran Surat :

Nomor : Nomor 25/2021

Tanggal : 10 September 2021

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Adasra Pratama

NIM : 11850512433

Tempat/Tgl. Lahir : Pekanbaru/ 12 April 1999

Fakultas/Pascasarjana : Sains dan Teknologi

Prodi : Teknik Elektro

Judul ~~Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya~~*:

Rancang Bangun Alat Identifikasi Kematangan Buah Pisang Menggunakan ESP32-CAM dan
Edge Impulse

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Penulisan ~~Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya~~* dengan judul sebagaimana tersebut di atas adalah hasil pemikiran dan penelitian saya sendiri.
2. Semua kutipan pada karya tulis saya ini sudah disebutkan sumbernya.
3. Oleh karena itu ~~Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya~~* saya ini, saya nyatakan bebas dari plagiat.
4. Apa bila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penulisan ~~Disertasi/Thesis/Skripsi/Karya Ilmiah lainnya~~* saya tersebut, maka saya bersedia menerima sanksi peraturan perundang-undangan.

Demikianlah Surat Pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun juga.

Pekanbaru, 21 Juli 2025

nembuat pernyataan



Adasra Pratama

NIM: 11850512433

*Pilih salah satu sesuai jenis karya tulis

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alamiin ucapan syukur saya ucapkan kepada Allah Subhanahu Wa. ta'ala, yang telah selalu memberikan limpahan rahmat dan karunia-Nya. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat beriringan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wassalam dan semoga kita semua mendapatkan syafa'atnya di hari akhir. Aamiin.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kusayangi dan kukasihi..

Ayah dan Ibu Tercinta

Sebagai tanda bakti, hormat dan rasa terima kasih yang tiada terhingga ku persembahkan karya kecil ini kepada Ayah (Asrul) dan Ibu (Ramadhani) yang telah memberikan kasih sayang secara dukungan, ridha dan cinta kasih yang tiada terhingga.

Orang terdekatku

Sebagai tanda terima kasih, aku persembahkan karya kecil ini untuk Adekku (Dutia Asra), Nenekku (Upik) dan juga keluarga yang telah memberikan semangat dan inspirasi selama pembuatan Tugas Akhir ini.

Teman-teman

Untuk teman-temanku yang selalu memberikan motivasi, nasehat dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ismail Harahap, Ridho Mardhianto, Muhammad Sapri, Patar Josua, Dimas Aditya, Dani Satria Dhanma, dan Muhammad Irvan Novit.

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Terima kasih kepada Bapak Ir. Oktaf Brilliant Kharisma, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya yang sudah membantu selama ini, memotivasi, menasihati dan mengarahkan saya hingga Tugas Akhir ini selesai.

RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN PISANG MENGUNAKAN ESP32-CAM DAN *EDGE IMPULSE*

ADASRA PRATAMA

NIM : 11850512433

Tanggal Sidang : 11 Juli 2025

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrantas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara tropis dengan produksi pisang yang tinggi dan beragam. Namun, penilaian tingkat kematangan pisang masih banyak dilakukan secara manual yang bersifat subjektif dan kurang konsisten, sehingga berpotensi menyebabkan kerugian pascapanen. Seiring perkembangan teknologi, metode berbasis pengolahan citra dan pembelajaran mesin seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), K-Nearest Neighbor (kNN), Artificial Neural Network (ANN), serta Fuzzy Logic mulai dimanfaatkan dalam klasifikasi kematangan buah. Namun, implementasi metode ini kerap menghadapi tantangan seperti keterbatasan data, variasi kondisi lingkungan, dan kebutuhan komputasi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem identifikasi tingkat kematangan buah pisang secara otomatis dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32-CAM yang terintegrasi dengan kamera serta platform Edge Impulse untuk pengolahan dan klasifikasi citra secara lokal. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan klasifikasi tingkat kematangan buah pisang secara langsung dan real-time. Model klasifikasi yang dibangun melalui platform Edge Impulse dan dijalankan pada perangkat ESP32-CAM menunjukkan performa yang cukup baik, dengan rata-rata akurasi mencapai 83,83%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja secara efektif dalam mengidentifikasi tiga kategori kematangan buah pisang, yaitu mentah, setengah matang, dan matang.

Kata kunci: Pisang, Kematangan Buah, ESP32-CAM, *Edge Impulse*, Klasifikasi Citra, *Internet of Things (IoT)*.

Design and Development of a Banana Ripeness Identification System Using ESP32-CAM and Edge Impulse

ADASRA PRATAMA
NIM : 11850512433

Date of Final Exam: 11 July 2025

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science and Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. No. 155 Pekanbaru – Indonesia

ABSTRACT

Indonesia is a tropical country with high and diverse banana production. However, the assessment of banana ripeness is still largely conducted manually, which is subjective and inconsistent, potentially leading to post-harvest losses. With technological advancement, image processing and machine learning methods such as Convolutional Neural Network (CNN), K-Nearest Neighbor (kNN), Artificial Neural Network (ANN), and Fuzzy Logic have been utilized in fruit ripeness classification. Nevertheless, the implementation of these methods often faces challenges such as limited datasets, environmental variations, and high computational demands. This study aims to design and develop an automated banana ripeness identification system by utilizing the ESP32-CAM microcontroller integrated with a camera, and the Edge Impulse platform for local image processing and classification. The results show that the developed system is capable of classifying the ripeness level of bananas directly and in real-time. The classification model, built using the Edge Impulse platform and deployed on the ESP32-CAM device, demonstrated a satisfactory performance with an average accuracy of 83.83%. This indicates that the system effectively identifies three ripeness categories of bananas: unripe, semi-ripe, and ripe.

Keywords: Banana, Fruit Ripeness, ESP32-CAM, Edge Impulse, Image Classification, Internet of Things (IoT)

KATA PENGANTAR



Assalammu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa ta'ala, berkat rahmat dan karunia yang telah dilimpahkan-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“RANCANG BANGUN ALAT IDENTIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN PISANG MENGGUNAKAN ESP32-CAM DAN EDGE IMPULSE”**.

Shalawat dan salam tak lupa dicurahkan kepada junjungan alam yakni Nabi Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wassalam. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan Tugas akhir di Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.

Terdapat banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini, baik secara moril maupun materil. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua beserta keluarga besar yang senantiasa memberi dukungan serta mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ibu Prof. Hj. Leny Nofianti, MS, SE, M.Si, Ak, CA. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Ibu Dr. Yuslenita Muda, S.Si., M. Sc.. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Zulfatri Aini, ST., MT selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Riau.
5. Bapak Sutoyo, S.T, M.T selaku sekretaris Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Riau.
6. Ir. Oktaf Brillian Kharisma, S.T., M.T., IMP., APEC_Eng. selaku dosen

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom. dan Bapak Abdillah, S.Si., M.I.T selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.
8. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga semester 14 ini.
9. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Sahabat-sahabat penulis (Ismail Harahap, Ridho Mardianto, Muhammad Sapri, Dimas Aditya, Dani Satria Dharma) yang selalu menghibur dan memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
11. Alumni/Senior serta Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2018 khususnya kelas B dan Konsentrasi Komputer.
12. Rekan-rekan seperjuangan dibawah naungan bimbingan pak oktaf yang telah membantu pengerjaan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 11 Juli 2025

Adasra Pratama

11850512433

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang.....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-7
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-7
1.4 Batasan Masalah	I-7
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 Studi Literatur.....	II-1
2.2 Pisang.....	II-3
2.3 Pengolahan Citra Digital	II-6
2.4 <i>Artificial Intelligence</i>	II-6
2.4.1 Deep Learning	II-7
2.4.2 Machine Learning	II-7
2.4.3 Edge Impulse.....	II-9
2.5 ESP32-CAM.....	II-12
2.6 Arduino IDE	II-14
2.7 OLED 0.96 inci.....	II-15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1 Jenis Penelitian	III-1
3.2 Alur Peneltian	III-2
3.3 Perangkat dan Aplikasi pada Penelitian	III-7
3.4 <i>Design Sistem</i>	III-8
3.5 Perancangan Alat.....	III-10
3.6 Perancangan Sistem.....	III-14

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

3.6.1	Pengumpulan Dataset	III-14
3.6.2	<i>Preprocessing</i> Dataset	III-17
3.7	Rancangan Pengujian	III-19
3.8	Desain Sistem	III-21
3.8.1	Rangkaian Sistem	III-22
3.8.2	Konstruksi Sistem	III-22
3.9	Evaluasi Sistem	III-23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		IV-1
4.1	Pengambilan Datasheet	IV-1
4.1.1	Pengambilan Datasheet Pisang	IV-1
4.1.2	Pelabelan Datasheet Pisang	IV-3
4.2	Pengolahan Datasheet	IV-9
4.2.1	Training Datasheet	IV-10
4.2.2	Test Datasheet	IV-11
4.2.3	Output Edge Impulse	IV-12
4.3	Program	IV-13
4.4	Pengujian Sistem	IV-14
4.5	Evaluasi	IV-18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		V-1
5.1	Kesimpulan	V-1
5.2	Saran	V-1
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN A		
LAMPIRAN B		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Pisang Raja.....	II-4
2. Pisang Kepok.....	II-4
3. Pisang Raja Sereh.....	II-5
4. Konsep <i>Machine Learning</i>	II-8
5. Logo <i>Edge Impuse</i>	II-9
6. Modul ESP32-CAM.....	II-12
7. ESP32-CAM-MB	II-13
8. Logo Software Arduino IDE.....	II-15
9. OLED 0,96 inci 128x64	II-16
1. Flowchart Prosedur Penelitian	III-3
2. Diagram Blok Sistem	III-9
3. Hasil Identifikasi pada Layar OLED.....	III-10
4. Perancangan Alat.....	III-12
5. Pengkabelan ESP32-CAM dengan OLED 0,96 inch	III-13
6. Pengambilan Foto Pisang untuk Dataset.....	III-16
7. Labeling Dataset.....	III-17
8. Training Settings	III-19
1. Rangkaian PCB menggunakan ESP32-CAM dan OLED	IV-1
2. Tampilan Fisik Sistem Klasifikasi dalam box pelindung.....	IV-2
3. Proses pengambilan citra pisang menggunakan ESP32-CAM	IV-4
4. Hasil Pengambilan Datasheet.....	IV-4
5. Tampilan proses unggah datasheet ke Edge Impulse.....	IV-5
6. Tampilan proses pelabelan data pisang di platform Edge Impulse.....	IV-6
7. Tampilan proses pelatihan model klasifikasi di Edge Impulse.....	IV-11
8. Hasil pengujian model klasifikasi menggunakan data testing di Edge Impulse	IV-12
9. Nilai akurasi model klasifikasi kematangan pisang	IV-13
10. Confusion matrix hasil evaluasi model	IV-13

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

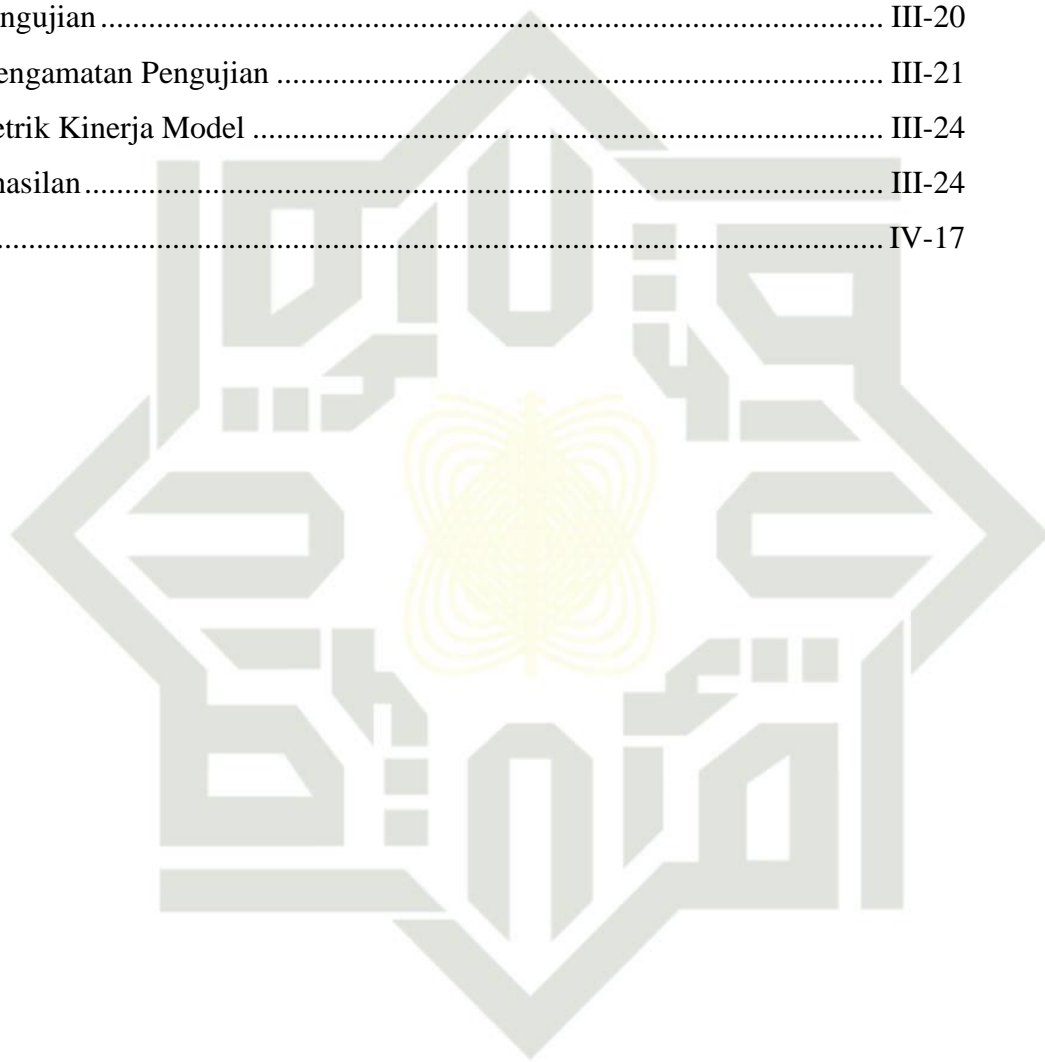
1 Classification report model klasifikasi pisang	IV-14
2 Hasil Edge Impulse	IV-15
3 Tampilan hasil klasifikasi pada OLED	IV-16



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Tingkat Kematangan dari Tiga Jenis Pisang	II-5
2. Karakteristik OLED 0.96 inci	II-15
3. Tabel Rencana Pengujian	III-20
4. Format Lembar Pengamatan Pengujian	III-21
3. 3 Hasil Evaluasi Metrik Kinerja Model	III-24
4. 4 Persentase Keberhasilan	III-24
4. 1 Hasil Pengujian	IV-17



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di berbagai sektor kehidupan manusia terus berkembang secara signifikan. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan curah hujan tinggi, memiliki kondisi alam yang sangat mendukung pengembangan sektor pertanian. Hal ini menjadikan tanah di Indonesia subur dan cocok untuk ditanami berbagai jenis tanaman. Dari aspek antropometri, pertumbuhan anak yang optimal berkaitan erat dengan asupan gizi yang memadai, seperti makronutrien, kalsium, magnesium, fosfor, vitamin D, yodium, dan seng (Melani, 2022). Salah satu buah yang kaya nutrisi adalah pisang, yang mengandung serat, mineral, antioksidan, serta vitamin. Selain itu, pisang juga merupakan sumber energi yang baik karena memiliki kandungan karbohidrat kompleks dan sederhana, yang turut berperan dalam memperkuat sistem imun. Pisang juga dikenal mengandung kalium dan pektin dalam jumlah tinggi. Selama masa pascapanen, pisang mengalami perubahan kimia akibat proses metabolisme seperti respirasi dan aktivitas enzimatik. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi tingkat kematangan setelah panen untuk menentukan waktu terbaik dalam pengolahan buah pisang (Hartoyo, 2019).[2]

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi pisang di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 2021, Indonesia memproduksi lebih dari 8,74 juta ton pisang. Angka ini meningkat sekitar 5,72% pada tahun 2022 menjadi 9,24 juta ton, dan pada tahun 2023 produksi pisang kembali meningkat menjadi 9,33 juta ton. Dengan capaian produksi tersebut, Indonesia tercatat sebagai produsen pisang terbesar keenam di dunia.[3]

Tingginya produksi pisang di Indonesia tidak terlepas dari beragamnya jenis pisang yang dibudidayakan oleh petani. Terdapat lebih dari 200 jenis pisang yang tumbuh di Indonesia, memberikan peluang besar untuk pemanfaatan dan komersialisasi pisang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Namun, proses klasifikasi kematangan pisang masih banyak

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Sunan Kalijaga.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Sunan Kalijaga.

dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengamatan visual oleh tenaga kerja. Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO) pada tahun 2021 mencatat bahwa 25–30% hasil panen pisang di negara berkembang terbuang sia-sia karena penanganan pascapanen yang tidak optimal. [4]

Kematangan pisang dapat diidentifikasi melalui beberapa ciri utama. Perubahan warna kulit merupakan indikator paling mudah diamati, di mana kulit pisang akan berubah dari hijau menjadi kuning seiring menurunnya kandungan klorofil dan meningkatnya pigmen karotenoid serta flavonoid. Standar Nasional Indonesia (SNI 7422:2009) membagi tingkat kematangan pisang menjadi tujuh tahap berdasarkan warna kulit, mulai dari hijau hingga kuning berbintik coklat [5]. Selain perubahan warna, tekstur dan kekerasan daging buah juga menjadi penanda penting. Pisang yang belum matang memiliki tekstur keras dan sulit dikupas, sedangkan pisang matang teksturnya lunak dan mudah dikupas. Dari segi rasa, pisang setengah matang cenderung kurang manis dan bahkan pahit, sementara pisang matang rasanya manis karena kandungan gula yang meningkat [1]. Proses pematangan juga menyebabkan perubahan kimiawi pada buah, seperti penurunan pati dan asam, serta peningkatan gula dan antioksidan. Selain itu, parameter lain seperti indeks skala warna kulit, umur simpan, kandungan Padatan Terlarut Total (PTT), Asam Tertritasi Total (ATT), dan vitamin C juga digunakan untuk menentukan kematangan secara ilmiah. Pengukuran reflektansi cahaya pada kulit pisang dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan secara *non-destruktif* (tanpa merusak buah). [7]

Guru Besar Fakultas Ekologi Manusia Institut Pertanian Bogor (IPB), Prof. Ahmad Sulaeman, menjelaskan bahwa warna kulit pisang menunjukkan tingkat kematangan buahnya dan selama proses kematangan terjadi perubahan komposisi gizi. Saat kulit berwarna hijau, pisang memiliki kandungan pati tinggi, gula rendah, dan mengandung prebiotik. Seiring meningkatnya kematangan, kandungan gula meningkat dan pati menurun, namun pisang yang semakin matang mengandung serat dan antioksidan yang lebih tinggi. Pisang yang matang dengan bintik coklat bahkan memiliki kandungan *Tumor Necrosis Factor* (TNF) yang meningkat, sehingga baik dikonsumsi oleh orang yang sedang dalam masa penyembuhan tumor atau kanker. (Pakar IPB, 2022)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tingkat kematangan pada buah pisang merupakan aspek penting yang memengaruhi mutu, cita rasa, serta daya tahan simpannya. Penilaian tingkat kematangan secara konvensional masih dilakukan secara manual, yang membutuhkan keahlian tersendiri dan bersifat subjektif, sehingga dapat menyebabkan ketidakkonsistenan hasil. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem klasifikasi otomatis yang mampu mengidentifikasi tingkat kematangan secara akurat dan konsisten. Pengembangan sistem ini sangat penting, terutama dalam sektor pertanian dan industri pangan, guna menjamin kualitas produk dan mengurangi ketergantungan terhadap proses evaluasi secara manual. [3]

Kemudian berdasarkan wawancara dengan seorang petani pisang yang ditemui di salah satu kota Pekanbaru, tepatnya di daerah Patria Sari, kecamatan Rumbai dan juga wawancara dengan seorang pedagang buah melalui pengamatan langsung di tempat bapak tersebut berjualan. Setiap jenis pisang memiliki pola perubahan warna yang khas seiring dengan bertambahnya usia simpan. Penelitian ini secara khusus membatasi objek pada tiga jenis pisang yang paling umum ditemukan di wilayah Pekanbaru, yaitu Pisang Raja, Pisang Raja Sereh, dan Pisang Kepok, karena ketiganya memiliki perbedaan visual tingkat kematangan yang cukup jelas dan mudah diamati melalui citra digital.

Pisang Raja menunjukkan transisi warna kulit secara bertahap, dimulai dari hijau tua saat setengah matang, kemudian berubah menjadi kuning kecoklatan saat mencapai kematangan, dan akhirnya menjadi coklat gelap dengan bercak hitam besar pada fase busuk. Sementara itu, Pisang Raja Sereh memiliki karakteristik yang serupa namun lebih mencolok, dengan perubahan dari kulit hijau tua menjadi kuning kecoklatan disertai bintik-bintik saat matang, lalu berkembang menjadi coklat kehitaman merata ketika memasuki fase pematangan. Di sisi lain, Pisang Kepok memperlihatkan transisi visual dari warna hijau keputihan saat setengah matang, menjadi kuning pucat ketika matang, dan berubah menjadi coklat tua atau kehitaman pada saat sudah tidak layak konsumsi (wawancara dengan pedagang buah).

Perkembangan teknologi digital, khususnya dalam bidang *image processing* dan *machine learning*, telah membuka peluang baru dalam mengatasi tantangan di sektor pertanian, termasuk dalam proses klasifikasi tingkat kematangan buah pisang. Indonesia sebagai negara

agras dengan iklim tropis yang mendukung produksi pisang, membutuhkan sistem penilaian kematangan yang efisien dan objektif. Penilaian manual yang selama ini digunakan bersifat subjektif dan kurang konsisten, sehingga diperlukan sistem otomatis yang lebih akurat [4].

Beberapa pendekatan berbasis kecerdasan buatan telah banyak digunakan, seperti *Convolutional Neural Network (CNN)*, *K-Nearest Neighbor (kNN)*, *Fuzzy Logic*, dan *Artificial Neural Network (ANN)*. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan dalam mengklasifikasikan kematangan pisang berdasarkan citra digital. Namun, implementasi metode tersebut menghadapi tantangan, terutama dalam hal variabilitas data akibat pencahayaan, sudut pandang, serta latar belakang objek [3].

Untuk mengatasi variabilitas tersebut, dilakukan *data augmentation* seperti rotasi dan perubahan intensitas cahaya, meskipun pendekatan ini belum tentu mencakup seluruh kondisi nyata. Keterbatasan lain juga terdapat pada jumlah dan variasi *dataset*, yang sering kali tidak mencerminkan kondisi lapangan secara akurat. Oleh karena itu, diperlukan *dataset* yang beragam dan representatif guna meningkatkan kemampuan generalisasi model [3].

Keterbatasan perangkat keras seperti kapasitas memori, kecepatan prosesor, dan kemampuan GPU menjadi tantangan utama dalam pemrosesan citra serta pelatihan model yang membutuhkan sumber daya komputasi besar. Penelitian harus menyeimbangkan kompleksitas model dengan ketersediaan sumber daya tersebut. Selain itu, integrasi model klasifikasi ke dalam sistem nyata di lapangan menghadapi kendala lingkungan yang variatif dan potensi gangguan. Oleh karena itu, implementasi sistem klasifikasi kematangan pisang yang andal dan tangguh memerlukan pengujian intensif dan penyesuaian kontinu [1].

Keberagaman jenis pisang dengan karakteristik fisik yang berbeda turut menjadi tantangan, karena model yang efektif pada satu jenis belum tentu berhasil pada jenis lainnya. Maka dari itu, penting untuk mengembangkan model yang adaptif terhadap variasi tersebut atau membuat model khusus untuk tiap jenis pisang. Validasi dan pengujian yang komprehensif (termasuk menggunakan data yang belum pernah dilihat saat pelatihan) sangat diperlukan untuk memastikan keandalan dan akurasi model. Pengujian lapangan juga esensial untuk menilai performa model dalam kondisi nyata. Di samping itu, penelitian harus terus mengikuti

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

perkembangan teknologi pemrosesan citra dan pembelajaran mesin agar metode dan teknik yang digunakan tetap mutakhir serta dapat meningkatkan performa model klasifikasi [3].

Penelitian mengenai klasifikasi tingkat kematangan pisang telah berkembang sangat pesat dalam beberapa tahun terakhir, terutama didorong oleh kemajuan teknologi pengolahan citra dan pembelajaran mesin. Salah satu pendekatan yang menonjol adalah pemanfaatan *Convolutional Neural Network* (CNN), karena kemampuannya dalam secara otomatis mengekstraksi fitur dari gambar dengan akurasi tinggi. Dalam studi yang dilakukan oleh Saraih dan Emanuel (2021), model pra-terlatih MobileNetV2 dan NASNetMobile digunakan untuk mengkategorikan kematangan pisang ke dalam empat kelas, dengan MobileNetV2 berhasil mencapai akurasi tertinggi sebesar 96,18%, sedangkan NASNetMobile mencapai akurasi sebesar 90,84%. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Chuquimarca (2023) juga mengonfirmasi efektivitas CNN sederhana yang dilatih menggunakan kombinasi dataset nyata dan sintetis, dengan hasil akurasi mencapai 91,7%.

Selain CNN, algoritma K-Nearest Neighbor (kNN) juga telah digunakan dalam beberapa penelitian. Kamelia (2021) menggunakan ruang warna Hue Saturation Value (HSV) dan kNN untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pisang. Meskipun akurasi spesifik tidak disebutkan, metode ini menunjukkan bahwa kNN dapat menjadi alternatif yang efektif untuk klasifikasi berbasis fitur warna. Metode Fuzzy Logic juga digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran dan kematangan pisang berdasarkan pengolahan citra. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Malabag (2022) mengembangkan sistem berbasis Fuzzy Logic yang menunjukkan hasil baik dalam klasifikasi ukuran dan kematangan pisang, meskipun akurasi spesifik tidak disebutkan.

Artificial Neural Networks (ANN) telah menunjukkan hasil yang sangat akurat dalam klasifikasi kematangan pisang. Penelitian yang dilakukan oleh Bonini Neto (2022) ini menggunakan jaringan backpropagation feedforward tiga lapis untuk mengklasifikasikan tahap kematangan pisang berdasarkan parameter fisik, fisikokimia, dan biokimia, mencapai akurasi rata-rata 97.5%. Selain itu, penggunaan teknik augmentasi data menjadi tren signifikan untuk meningkatkan kinerja model. Penelitian Chuquimarca (2023) menggunakan dataset sintetis untuk melatih model CNN mereka, yang membantu mengatasi keterbatasan dataset nyata.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Teknik augmentasi data seperti rotasi, pemotongan, dan perubahan intensitas cahaya sering digunakan untuk memperluas variasi dalam dataset pelatihan [5].

Sistem identifikasi kematangan buah dan sayuran berbasis citra saat ini masih menghadapi tantangan dari segi biaya tinggi, terutama terkait penyediaan perangkat keras, pengembangan model, dan pemrosesan data. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan solusi teknologi klasifikasi gambar yang lebih terjangkau, praktis, dan hemat sumber daya. ESP32-CAM, sebagai perangkat mikrokontroler yang terintegrasi dengan kamera dan jaringan nirkabel, menawarkan solusi dengan kemampuan akuisisi gambar secara *real-time* dengan presisi tinggi, namun dengan harga yang lebih kompetitif dibandingkan teknologi alternatif sejenis [4].

Edge Impulse merupakan platform *machine learning* berbasis web yang dioptimalkan khusus untuk pengembangan model pada perangkat berdaya rendah, memungkinkan proses identifikasi gambar dilakukan secara lokal tanpa ketergantungan pada komputasi *cloud*. Dalam pengembangan model klasifikasi objek, *Edge Impulse* menyediakan fitur *Impulse Design* yang terdiri dari tiga fase utama, yaitu *create impulse*, *image*, dan *object detection*. Setiap fase memiliki parameter penting dalam proses pengolahan data dan pelatihan model, seperti resolusi gambar, *color depth*, dan *learning block*.

Kombinasi ESP32-CAM dan *Edge Impulse* memberikan solusi inovatif yang memungkinkan pengembangan sistem klasifikasi objek untuk menentukan tingkat kematangan buah pisang dengan biaya rendah, namun tetap efektif. ESP32-CAM memungkinkan pengambilan gambar secara *real-time*, sementara *Edge Impulse* memfasilitasi pelatihan serta klasifikasi citra langsung di perangkat *edge* secara efisien. Dengan memanfaatkan kedua teknologi ini, dapat dikembangkan sistem klasifikasi tingkat kematangan pisang yang otomatis, murah, dan praktis [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis tertarik melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Alat Identifikasi Kematangan Buah Pisang Berbasis ESP32-CAM dan *Edge Impulse*.” Alat ini diharapkan dapat membantu petani dan pelaku industri pisang dalam mengklasifikasikan tingkat kematangan pisang secara lebih akurat, efisien, dan

konsisten, sehingga dapat meningkatkan kualitas produksi dan mengurangi kerugian ekonomi akibat kesalahan klasifikasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, yang menjadi pokok permasalahan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mengimplementasikan sistem klasifikasi kematangan buah pisang (setengah matang, matang, dan busuk) menggunakan ESP32-CAM?
2. Bagaimana tingkat akurasi alat klasifikasi kematangan buah pisang menggunakan ESP32-CAM ini?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari peneltian ini adalah untuk menghasilkan suatu alat klasifikasi yang dapat mengukur tingkat akurasi dalam menentukan kematangan buah pisang berbasis ESP32-CAM dan *Edge Impulse*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menjaga ruang lingkup penelitian agar tetap fokus dan terarah, serta mempertimbangkan keterbatasan waktu dan sumber daya, maka penulis membuat penelitian ini dibatasi pada beberapa hal sebagai berikut :

1. Sistem dikembangkan dalam bentuk *prototype* klasifikasi tingkat kematangan buah pisang menggunakan kamera ESP32-CAM dan model yang dihasilkan dari platform *Edge Impulse*.
2. Proses klasifikasi hanya mencakup tiga kategori tingkat kematangan buah pisang, yaitu: setengah matang, matang, dan busuk.
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga jenis pisang, yaitu Pisang Raja, Pisang Raja Sereh dan Pisang Kepok.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1.2 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Bagi Petani Pisang

Penelitian ini dapat membantu petani dalam menyortir hasil panen pisang berdasarkan tingkat kematangan secara lebih akurat dan konsisten, sehingga meminimalisir kesalahan distribusi dan kerugian akibat pisang yang terlalu matang atau belum layak jual.

2. Bagi Pelaku UMKM Pengolah Pisang

Sistem klasifikasi kematangan yang dikembangkan dapat menjadi solusi praktis bagi pelaku usaha kecil dan menengah yang mengandalkan bahan baku pisang, agar dapat memilih pisang dengan tingkat kematangan sesuai kebutuhan produk (misalnya gorengan, keripik, atau sale), sehingga menjaga kualitas produk dan efisiensi produksi.

2.1 Studi Literatur

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mengambil rujukan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan latar belakang masalah pada judul skripsi ini. Adapun penelitian terkait tersebut sebagai berikut.

Penelitian terkait pertama dilakukan oleh Rendra Soekarta, Muh. Fadli Hasa, dan Endang Stahputri Ode pada tahun 2023 dengan judul “Klasifikasi Kematangan Buah Pisang Secara Real-Time Menggunakan *Convolutional Neural Network* Berbasis Android”. Penelitian ini menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah pisang berdasarkan citra yang diambil oleh kamera. Model yang digunakan adalah EfficientNet, dan sistem diimplementasikan ke dalam aplikasi Android. Hasil penelitian ini menunjukkan performa yang sangat baik, dengan akurasi training sebesar 99% dan akurasi validasi sebesar 90%. Penelitian ini sudah mendukung klasifikasi secara real-time, namun sistem hanya berjalan pada perangkat mobile dan tidak pada perangkat tertanam seperti ESP32 [7].

Penelitian terkait kedua dilakukan oleh Aditya Dwi Putro dan Arief Hermawan pada tahun 2021 dengan judul “Pengaruh Cahaya dan Kualitas Citra dalam Klasifikasi Kematangan Pisang Cavendish Berdasarkan Ciri Warna Menggunakan Artificial Neural Network”. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kematangan pisang dengan menggunakan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN) berdasarkan ciri warna. Penelitian ini juga mempertimbangkan faktor pencahayaan terhadap kualitas citra yang digunakan. Model ANN yang digunakan berhasil memperoleh akurasi tertinggi sebesar 100% menggunakan algoritma *trainlm*. Meskipun demikian, penelitian ini tidak menggunakan perangkat embedded atau sistem real-time [8].

Penelitian terkait ketiga dilakukan oleh Indarto dan Murinto pada tahun 2020 dengan judul “Deteksi Kematangan Buah Pisang Berdasarkan Fitur Warna Citra Kulit

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 UIN Suska Riau
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim R

Pisang Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HSI". Penelitian ini menggunakan metode transformasi warna ke ruang HSI (Hue, Saturation, Intensity) untuk menentukan kematangan buah pisang Ambon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini cukup efektif dalam mengidentifikasi tingkat kematangan pisang, dengan akurasi mencapai 85%. Penelitian ini memiliki kelebihan dalam hal kesederhanaan implementasi, namun belum menerapkan metode klasifikasi berbasis kecerdasan buatan maupun sistem embedded [9].

Penelitian terkait keempat dilakukan Raghavendra pada tahun 2022. Penelitian ini mengintegrasikan penginderaan hiperspektral (HSI) juga menjadi tren dalam penelitian terbaru. Dengan menggabungkan penginderaan RGB dan HSI dalam sistem pengurutan pisang berbasis deep learning. Hasilnya menunjukkan akurasi klasifikasi sebesar 98.4% dan F1-score 0.97, menunjukkan bahwa penginderaan HSI dapat meningkatkan kinerja model klasifikasi. Pendekatan multimodal yang menggabungkan berbagai jenis data dan model juga menunjukkan potensi besar. Misalnya, kombinasi data RGB dan HSI oleh Raghavendra (2022) meningkatkan akurasi klasifikasi dengan mengatasi keterbatasan masing-masing jenis data [19].

Penelitian terkait kelima dilakukan oleh Johni Revormasi Ziliwu, Gogor C. Setyawan, dan Haeni Budiati pada tahun 2023 dengan judul "Penerapan ESP32-CAM dan TinyML dalam Klasifikasi Gambar Buah dan Sayuran". Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem klasifikasi gambar buah dan sayuran dengan biaya rendah dan efisiensi tinggi menggunakan perangkat ESP32-CAM dan platform *TinyML*. Metode yang digunakan melibatkan pelatihan model *Convolutional Neural Network* (CNN) melalui *Edge Impulse Studio*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai akurasi F1 score sebesar 68,3% untuk setiap kelas buah dan sayuran. Dalam demonstrasi menggunakan ESP32-CAM, akurasi yang diperoleh untuk masing-masing buah dan sayuran adalah: Apel (89%), Pisang (91%), Jeruk (89%), Wortel (83%), dan Kubis (66%).

2.2 Pisang

Pisang (*Musa spp.*) adalah salah satu buah tropis yang banyak dibudidayakan di Indonesia serta negara-negara beriklim tropis lainnya. Buah ini dikenal memiliki nilai gizi yang tinggi dan bernilai ekonomi. Kombinasi rasa manis serta kandungan nutrisi seperti karbohidrat, vitamin C, vitamin B6, kalium, dan serat menjadikannya disukai oleh berbagai kalangan masyarakat. Kandungan karbohidrat dalam pisang dapat dikonversi menjadi energi, sehingga buah ini kerap dimanfaatkan sebagai sumber energi yang baik bagi tubuh.

Kematangan pisang biasanya ditentukan oleh warna kulitnya: dari hijau untuk pisang yang masih setengah matang, kuning untuk pisang yang sudah matang, dan hitam untuk pisang yang terlalu matang. Perubahan warna ini disebabkan oleh aktivitas enzim dan proses fisiologis seperti respirasi dan produksi etilen. Oleh karena itu, penilaian visual tingkat kematangan pisang (melalui gambar) sering digunakan dalam pengolahan gambar dan penelitian kecerdasan buatan [10].

Produksi pisang yang melimpah di Indonesia didukung oleh ragam jenis pisang yang dibudidayakan oleh para petani. Lebih dari 200 varietas pisang tumbuh di Indonesia, memberikan kesempatan luas untuk pemanfaatan dan pemasaran pisang yang sesuai dengan kebutuhan konsumen (Departemen Pertanian, 2005). Dalam penelitian ini, fokus identifikasi akan diberikan pada tiga varietas pisang yang paling umum di Indonesia, yakni pisang Raja, pisang Raja Sereh, dan pisang Kepok.

Pisang raja merupakan salah satu varietas pisang yang memiliki bentuk buah relatif lurus dengan sedikit lengkungan, dan panjang buah kurang dari 15 cm. Saat mencapai tingkat kematangan, kulit buah akan berubah menjadi kuning, sedangkan daging buahnya tampak putih kekuningan dengan rasa manis bercampur sedikit asam. Dalam satu tandan, tanaman ini mampu menghasilkan sekitar 7 hingga 12 sisir, dengan jumlah buah per sisir berkisar antara 9 hingga 14 buah. Hasil ini sejalan dengan karakteristik yang dijelaskan oleh Hapsari (2015), bahwa tanaman pisang raja umumnya memiliki tinggi lebih dari 3 meter, batang semu berwarna hijau, serta rasa buah yang manis dengan sedikit nuansa asam.[20]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 2. 1 Pisang Raja

Pisang Kepok dikenal dengan bentuknya yang agak pipih atau datar sehingga sering disebut juga sebagai pisang gepeng. Pohon pisang Kepok memiliki tinggi sekitar 3 meter dengan warna hijau bersih tanpa bercak coklat. Dalam satu tandan, pisang Kepok memiliki jumlah buah sekitar 10-14 buah dengan ukuran yang tidak terlalu besar, panjang sekitar 10-12 cm dan berat antara 80-120 gram. Pisang Kepok memiliki tekstur yang padat dan creamy, menjadikannya sangat cocok untuk diolah menjadi berbagai jenis makanan.



Gambar 2. 2 Pisang Kepok

Pisang Raja Sereh merupakan salah satu varietas pisang yang memiliki bentuk buah relatif lurus dengan sedikit lengkungan, dan panjang buahnya kurang dari 15 cm. Saat mencapai tingkat kematangan, kulit buahnya akan berubah menjadi kuning oranye disertai dengan bintik-bintik hitam, sementara bagian daging buah tampak keputihan dengan cita rasa manis bercampur asam. Dalam satu tandan, tanaman ini mampu menghasilkan sekitar 7 hingga 12 sisir, dengan jumlah buah per sisir berkisar antara 9 hingga 14 buah.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Karakteristik ini sejalan dengan hasil karakterisasi yang disampaikan oleh Hapsari (2015), yang menyebutkan bahwa pisang Raja Sereh memiliki kemiripan dengan pisang Raja pada umumnya, namun keunikannya terletak pada munculnya bintik-bintik cokelat kehitaman pada kulit buah saat matang, yang menjadi ciri pembeda utama.[20]



Gambar 2. 3 Pisang Raja Sereh

Berikut ditampilkan ciri-ciri tingkat kematangan dari 3 jenis buah pisang diatas, yaitu Pisang Raja, Pisang Raja Sereh dan Pisang Kepok.

Tabel 2. 1 Tingkat Kematangan dari Tiga Jenis Pisang

Jenis Pisang	Setengah Matang	Matang	Busuk
Pisang Raja	Kulit berwarna hijau tua merata, permukaan buah keras, belum tercium aroma.	Kulit berubah menjadi kuning kecoklatan dengan tekstur lebih lunak dan aroma manis mulai tercium.	Kulit menjadi cokelat gelap hingga kehitaman, terdapat bintik hitam besar, buah sangat lembek.
Pisang Raja Sereh	Kulit berwarna hijau tua pekat, tekstur keras, tidak beraroma.	Kulit kuning kecoklatan merata, sering disertai bintik coklat kecil; tekstur lembut dan aroma kuat.	Warna kulit menghitam secara menyeluruh, muncul lendir atau jamur putih, tekstur sangat lembek.

2.3 Pengolahan Citra Digital

Elemen piksel merupakan sebuah matriks indeks baris dan kolom yang menyatakan suatu titik pada citra dan elemennya. Tahapan pengubahan citra analog menjadi citra digital sering disebut dengan proses digitasi. Digitasi adalah sebuah proses mengubah gambar, teks, dan suara dari benda yang dapat dilihat ke dalam data elektronik dan dapat disimpan serta diproses untuk keperluan lainnya. Citra digital pada komputer disusun dalam bentuk grid atau elemen piksel-piksel yang berbentuk matriks 2 dimensi. Untuk merepresentasikan warna-warna dari setiap citra tersebut maka elemen piksel tersebut mempunyai nilainya masing-masing, yang 10 mana nilai dalam angka pada setiap piksel akan di simpan secara berurutan oleh computer.[11]

2.4 Artificial Intelligence

Artificial Intelligence (AI) adalah cabang ilmu komputer yang memungkinkan sistem atau perangkat untuk meniru kemampuan manusia: bernalar, belajar dari pengalaman, menganalisis data, dan membuat keputusan secara mandiri. Teknologi ini dikembangkan untuk memecahkan beberapa masalah rumit yang sebelumnya hanya dapat diselesaikan oleh manusia.

Di bidang pertanian dan pengolahan tanaman, penerapan AI saat ini menjadi tren yang sangat potensial, termasuk dalam pendeteksian dan pengklasifikasian kematangan buah. Dengan teknologi AI, penyortiran buah-buahan seperti pisang dapat dilakukan lebih efisien dan akurat. Dulu, hal ini dilakukan secara manual oleh orang-orang. Proses manual ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga rentan terhadap kesalahan subjektif. Dengan AI, proses ini dapat diotomatisasi dan dilakukan secara lebih konsisten.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Secara khusus, penelitian ini menggunakan teknologi AI untuk membuat sistem klasifikasi kematangan pisang melalui pemrosesan gambar. Menggunakan model pembelajaran mesin yang dilatih pada platform Edge Impulse dan berjalan pada perangkat ESP32 CAM, sistem dapat mendeteksi pisang dan mengklasifikasikannya ke dalam kategori seperti setengah matang, matang, atau busuk. Aplikasi ini menggabungkan kemampuan visi komputer dengan algoritma klasifikasi untuk menganalisis gambar buah secara real-time.[12]

2.1.1 Deep Learning

Deep Learning merupakan pendekatan pembelajaran sistem yang dikembangkan berdasarkan prinsip kerja otak manusia dan landasan matematis. Metode ini telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, seperti peramalan kejadian, pengenalan objek pada citra digital, hingga pendukung dalam proses diagnosis medis. Salah satu penerapan yang signifikan terlihat pada pengolahan citra, di mana deep learning mampu meningkatkan kecepatan dan ketepatan dalam proses identifikasi serta klasifikasi objek dalam gambar. Teknologi ini juga memberikan efisiensi tinggi dalam menangani pemrosesan data visual dalam jumlah besar secara bersamaan. Oleh karena itu, penerapan deep learning dalam pengolahan citra sangat berkontribusi dalam meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam analisis data visual. [15]

2.1.2 Machine Learning

Machine Learning merupakan cabang dari ilmu komputer yang fokus pada bagaimana sebuah sistem komputer dapat mempelajari pola dari data guna meningkatkan kemampuannya dalam mengambil keputusan secara otomatis. Pendekatan ini memungkinkan komputer atau mesin untuk menjadi “cerdas” melalui proses pembelajaran yang berkelanjutan, tanpa harus diprogram secara eksplisit untuk setiap tugas tertentu. Untuk dapat melakukan pembelajaran tersebut, algoritma *machine learning* membutuhkan data sebagai fondasi utama dalam proses pelatihannya. Data ini pada umumnya dibagi menjadi dua kategori, yaitu data

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

pelatihan (*training data*) yang digunakan untuk membangun model pembelajaran, dan data pengujian (*testing data*) yang berfungsi untuk mengevaluasi performa model terhadap data baru yang belum dikenali sebelumnya.[13]



Gambar 2. 4 Konsep *Machine Learning*

Machine Learning (ML) merupakan inovasi terkini dalam bidang teknologi informasi dan analisis data yang merevolusi cara pengambilan keputusan berbasis informasi. Dengan kemampuannya dalam mengolah serta menganalisis data dalam jumlah besar, ML mampu mengungkap informasi tersembunyi yang sebelumnya tidak disadari oleh manusia. Secara prinsip, ML bekerja berdasarkan konsep bahwa sistem dapat “belajar” dari pengalaman atau data historis yang telah dianalisis sebelumnya untuk meningkatkan tingkat akurasi dan kinerja dalam tugas tertentu. Proses pembelajaran ini melibatkan penggunaan algoritma yang secara adaptif memperbarui model berdasarkan umpan balik dari hasil prediksi. Semakin banyak data yang dipelajari, maka semakin tinggi pula kecerdasan dan efisiensi sistem tersebut.

Sebagai salah satu subbidang dari *Artificial Intelligence* (AI), ML memungkinkan sistem komputer untuk melakukan pembelajaran dari data tanpa memerlukan pemrograman secara eksplisit. Melalui proses ini, sistem mampu mengenali pola dalam data, membuat prediksi, serta mengambil keputusan berdasarkan informasi yang tersedia.[12]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

2.4.3 *Edge Impulse*

Edge Impulse merupakan sebuah platform pengembangan kecerdasan buatan (AI) yang dirancang secara khusus untuk mendukung perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT). Platform ini memberikan kemudahan bagi penggunanya dalam membangun, melatih, hingga mengimplementasikan model *machine learning* secara langsung pada perangkat mikrokontroler. Salah satu keunggulan *Edge Impulse* terletak pada fleksibilitasnya dalam mendukung berbagai jenis sensor serta perangkat mikrokontroler, termasuk ESP32-CAM yang kerap dimanfaatkan dalam aplikasi pengenalan visual. Melalui platform ini, pengguna dapat melakukan proses pengumpulan data dari sensor, melakukan pra-pemrosesan data, serta melatih model kecerdasan buatan yang mampu menjalankan berbagai fungsi, seperti deteksi objek, pengenalan suara, maupun klasifikasi jenis data lainnya. Tampilan dari logo *Edge Impulse* dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 2. 5 Logo *Edge Impulse*

Platform *Edge Impulse* menyediakan berbagai fitur utama yang mendukung proses pengembangan model kecerdasan buatan pada perangkat berbasis IoT. Fitur-fitur ini dirancang untuk mempermudah alur kerja mulai dari pengumpulan data hingga implementasi model ke dalam perangkat mikrokontroler.

1. *Data Acquisition*

Fitur ini memungkinkan pengguna untuk mengumpulkan data secara langsung dari perangkat sensor yang terhubung. Data yang dikumpulkan dapat berupa gambar, audio, maupun data lain yang berasal dari sensor, dan digunakan sebagai dasar untuk melatih model *machine learning*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2. *Data Processing*

Edge Impulse menyediakan berbagai alat pemrosesan data secara terintegrasi, seperti konversi gambar ke dalam format *grayscale*, ekstraksi fitur dari sinyal audio, serta analisis awal terhadap data dari sensor lainnya. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang akan digunakan dalam pelatihan model telah dalam kondisi yang optimal.

3. *Model Training*

Platform ini menyediakan berbagai jenis arsitektur *machine learning* yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, mencakup fungsi seperti klasifikasi dasar, pendeteksian objek, hingga klasifikasi secara waktu nyata (*real-time*). Seluruh proses pelatihannya dilakukan melalui antarmuka visual berbasis *cloud* yang dirancang agar mudah dipahami dan dioperasikan, bahkan oleh pengguna tanpa latar belakang teknis mendalam.

4. *Impulse Design*

Pengguna dapat merancang sebuah *impulse*, yaitu alur pemrosesan lengkap dari data setengah matang hingga prediksi akhir. Dalam proses ini, pengguna dapat mengatur blok-blok pemrosesan data dan secara opsional mengatur blok pembelajaran yang akan digunakan dalam model.

5. *Live Classification*

Fitur ini memungkinkan pengguna untuk melakukan klasifikasi secara *real-time* berdasarkan data aktual yang diterima dari perangkat IoT. Hal ini sangat berguna untuk keperluan pengujian cepat dan demonstrasi secara langsung terhadap performa model.

6. *Deployment Options*

Edge Impulse mendukung berbagai metode implementasi model ke dalam perangkat akhir. Model yang telah dilatih dapat langsung diubah ke dalam format yang kompatibel, seperti *library* Arduino, file *TensorFlow Lite*, atau bahkan file *firmware* yang siap pakai dan dipasang pada perangkat target.

Platform *Edge Impulse* ini memungkinkan pengembangan aplikasi *machine learning* untuk perangkat *edge* (seperti ESP-32 CAM, Arduino, Raspberry Pi, dll),

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

termasuk deteksi objek. Berikut ini adalah proses dari deteksi objek yang terdapat pada *Edge Impulse* :

1. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data yang relevan, data ini berupa gambar yang berisi objek yang dikenali. Setiap gambar harus sudah diberi label dan memiliki kelas objek.

2. *Preprocessing* Data

Setelah pengumpulan data, selanjutnya *preprocessing* data, ini meliputi perubahan ukuran gambar, normalisasi dan augmentasi data untuk meningkatkan keragaman dataset.

3. Membuat Proyek

User membuat proyek baru pada platform *Edge Impulse*, ini memungkinkan user dapat memilih jenis proyek yang sesuai, Seperti deteksi objek.

4. *Training* Model

Setelah menyiapkan data, user dapat melatih model deteksi objek. *Edge Impulse* menyediakan berbagai algoritma yang dapat dipilih, termasuk FOMO (*Faster Object Detection for Mobile Oriented*), YOLO (*You Only Look Once*) dan SSD (*Single Shot Detector*). Hal ini dapat membuat user mengatur parameter pelatihan, seperti jumlah *Epoch*, ukuran batch dan *Learning Rate*.

5. Mengevaluasi Model

Setelah *training* model, selanjutnya model dievaluasi berdasarkan performanya. Metrik yang digunakan untuk evaluasi deteksi objek adalah *Recall*, *Precision*, *F1-Score* dan *mean Average Precision* (mAP).

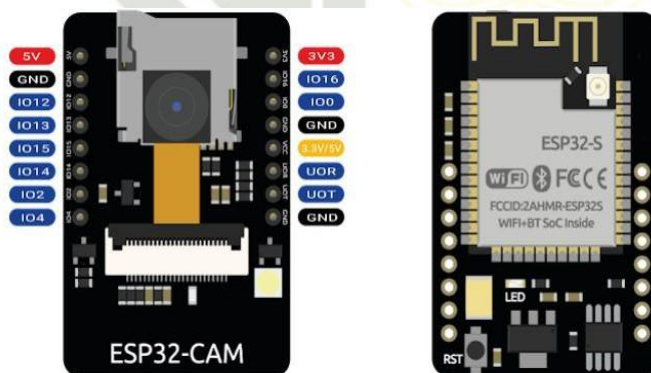
6. Mengimplementasikan pada Perangkat *Edge*

Selanjutnya menerapkan model yang telah di evaluasi tersebut ke perangkat *edge* dan melakukan pengujian secara langsung dalam kondisi *real-time*.

2.5 ESP32-CAM

Deteksi objek menggunakan *Edge Impulse* memungkinkan pengembang untuk membangun dan mengimplementasikan deteksi objek secara efisien. Selain itu, platform ini mempermudah proses *deployment* model ke berbagai perangkat *edge*, sehingga dapat digunakan dalam aplikasi lain secara luas.[12]

Modul ESP32-CAM merupakan salah satu varian mikrokontroler yang telah terintegrasi dengan kamera beresolusi kecil dan dirancang dengan karakteristik konsumsi daya yang efisien. Hal ini menjadikannya ideal untuk diterapkan dalam berbagai sistem *Internet of Things* (IoT). Perangkat ini dilengkapi dengan sensor kamera OV2640 serta slot kartu *TransFlash* (microSD) yang memungkinkan penyimpanan data secara lokal tanpa perlu koneksi eksternal. Representasi visual dari perangkat ini dapat dilihat pada 2.9. Dengan bentuk yang kompak dan kemampuan konektivitas nirkabel melalui jaringan Wi-Fi, ESP32-CAM banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pengawasan (*closed-circuit television*), pembacaan kode QR, hingga pemrosesan dan klasifikasi objek berbasis gambar digital.



Gambar 2. 6 Modul ESP32-CAM

Disamping kemampuannya dalam pengambilan citra, ESP32-CAM juga mendukung berbagai bentuk konektivitas nirkabel seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, dan *Bluetooth Low Energy (BLE) Beacon*, sehingga sangat cocok untuk diterapkan dalam sistem pemantauan dan kendali dari jarak jauh. Modul ini ditenagai oleh prosesor ganda Xtensa® LX6 berarsitektur 32-bit yang memungkinkan pengaturan frekuensi operasional secara

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

fleksibel, mulai dari 80 MHz hingga 240 MHz. Konfigurasi ini memberikan kemampuan pemrosesan data secara cepat dan efisien, terutama pada implementasi yang mengandalkan pemrosesan di sisi perangkat (*edge computing*). Kemampuan inilah yang membuat ESP32-CAM sering dijadikan solusi dalam pengembangan sistem IoT yang membutuhkan kamera serta komunikasi nirkabel secara langsung dalam satu perangkat yang terintegrasi [12].

Pemrograman modul ESP32-CAM dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis board antarmuka seperti CH340, ESP32-CAM-MB, atau FTDI, yang berfungsi sebagai jembatan komunikasi antara port USB dan antarmuka serial. Salah satu perangkat populer adalah ESP32-CAM-MB atau Downloader ESP32-CAM Programmer CH340 Development Board (ditampilkan pada 2.10), yang dirancang untuk menyederhanakan proses pemrograman tanpa memerlukan rangkaian kabel tambahan. Modul ini memungkinkan komputer untuk terhubung langsung ke ESP32-CAM guna melakukan pemrograman ulang dan proses debugging secara lebih praktis.



Gambar 2. 7 ESP32-CAM-MB

Selain itu, ESP32-CAM juga dapat dikonfigurasi menggunakan IC Programmer berbasis FTDI (Future Technology Devices International), yang berperan sebagai konverter USB ke TTL (Transistor-Transistor Logic). Pemrograman dilakukan menggunakan bahasa C++, yang bertugas mengidentifikasi port FTDI dan port ESP32-CAM, lalu mengatur proses transfer serta kompilasi data agar dapat berjalan dengan sukses. Secara teknis,

2.6 Arduino IDE

ESP32-CAM memiliki total 16 pin yang mendukung fungsi Input dan Output, dengan masing-masing General Purpose Input Output (GPIO) mendukung fungsi seperti data, clock (CLK), command (CMD), CSI_MCLK, serta komunikasi serial TX dan RX.[16]

Arduino IDE (*Int Software Arduino IDE (Integrated Development Environment)*) merupakan sebuah *software* yang dirancang untuk mendukung kegiatan penulisan, kompilasi, hingga unggahan kode ke berbagai *board* yang kompatibel dengan platform Arduino. Antarmuka pengguna yang disediakan bersifat ramah pengguna dan mencakup beberapa fitur utama, antara lain: *code editor*, *library manager*, *board manager*, *serial monitor*, serta alat untuk *compile* dan *upload*.

Pada *code editor*, pengguna dapat menulis *sketch* atau program Arduino dengan bantuan fitur seperti *syntax highlighting* dan *auto-indentation*, yang membantu dalam menjaga keterbacaan dan struktur kode. Fitur *library manager* memudahkan pengguna dalam menambahkan dan mengelola *library* eksternal, yang biasanya dibutuhkan untuk menghubungkan proyek dengan berbagai sensor, aktuator, atau modul lainnya. Sedangkan *board manager* memungkinkan pengguna untuk memasang dan mengatur dukungan terhadap berbagai jenis *board*, baik dari pihak resmi seperti Arduino Uno dan Arduino Mega, maupun pihak ketiga seperti ESP32.

Selain itu, serial monitor merupakan fitur bawaan yang memungkinkan interaksi langsung antara komputer dengan Arduino *board* melalui koneksi serial. Fitur ini sangat berguna untuk proses *debugging* dan pengujian sistem secara langsung. Sementara itu, proses *compile* dan *upload* bertugas menerjemahkan kode sumber ke dalam format bahasa mesin, lalu mengunggahnya ke *board* melalui koneksi serial atau USB.

Ekosistem Arduino IDE juga didukung oleh komunitas pengguna yang sangat aktif dan tersebar luas, yang menyediakan berbagai dokumentasi daring, tutorial, dan forum diskusi. Dukungan komunitas ini memperkaya akses terhadap *resource*, berbagai koleksi *library*, serta contoh-contoh proyek yang dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem berbasis Arduino.[17]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Dengan tampilan antarmuka yang sederhana dan intuitif, Arduino IDE memberikan kemudahan bagi pengguna pemula sekalipun dalam memahami dan mengimplementasikan sintaks pemrograman, khususnya bahasa pemrograman C/C++ yang digunakan dalam platform Arduino. Di bawah ini merupakan logo dan halaman *interface* dari Software Arduino IDE.



Gambar 2. 8 Logo Software Arduino IDE

2.7 OLED 0.96 inci

Modul OLED berukuran 0.96 inci merupakan perangkat tampilan kecil berbasis teknologi *Organic Light Emitting Diode* yang mampu menampilkan gambar dua dimensi dengan resolusi 128x64 piksel. Modul ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi elektronika karena kemampuannya dalam menampilkan informasi dalam bentuk teks, grafik, maupun animasi secara fleksibel. Berbeda dengan layar konvensional, setiap piksel pada OLED menghasilkan cahaya sendiri (*self-emissive*), sehingga tidak memerlukan lampu latar (*backlight*). Hal ini memungkinkan tampilan warna hitam yang lebih pekat dan rasio kontras yang tinggi.[18] Spesifikasi teknis utama dari modul OLED 0.96 inci dengan resolusi 128x64 dapat dilihat pada 2.1.

Tabel 2. 2 Karakteristik OLED 0.96 inci

No.	Properti	Deskripsi
1.	Resolusi	128x64 piksel
2.	Interface	Biasanya I2C, SPI, atau paralel 8-bit
3.	Area Aktif	Sekitar 0.96 inci secara diagonal
4.	IC Penggerak	Chip pengontrol SSD1306 atau serupa
5.	Tegangan Operasi	3.3 V atau 5 V (tergantung model)
6.	Sudut Pandang	Hingga 160 derajat
7.	Kecepatan Komunikasi	Tergantung interface (400kHz untuk I2C, lebih tinggi untuk SPI)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Salah satu keunggulan penggunaan OLED pada modul ESP32-CAM terletak pada efisiensi konsumsi dayanya yang rendah, karena hanya piksel aktif yang menyala saat menampilkan informasi. Komponen OLED itu sendiri ditampilkan seperti pada gambar di bawah.



Gambar 2. 9 OLED 0,96 inci 128x64

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah penelitian pengembangan (Research and Development/R&D). Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem klasifikasi tingkat kematangan buah pisang secara otomatis menggunakan ESP32-CAM sebagai perangkat akuisisi citra dan platform *Edge Impulse* sebagai sarana pemrosesan dan klasifikasi berbasis kecerdasan buatan (*machine learning*). Penelitian pengembangan ini melibatkan beberapa tahapan, mulai dari pengumpulan dataset gambar buah pisang dengan berbagai tingkat kematangan, pelabelan data, pelatihan model klasifikasi menggunakan algoritma *image classification*, hingga integrasi model ke dalam perangkat ESP32-CAM untuk dapat digunakan secara *offline*. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem yang dihasilkan dapat memberikan solusi praktis dan efisien dalam mengklasifikasikan kematangan buah pisang secara real-time di lapangan, khususnya pada proses pascapanen atau distribusi. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini mengadaptasi langkah-langkah dari model pengembangan Borg and Gall, yang telah disederhanakan menjadi beberapa tahap utama:

1. Potensi dan masalah, yaitu mengidentifikasi kebutuhan sistem klasifikasi buah pisang dan potensi teknologi yang dapat digunakan
2. Pengumpulan data, dilakukan dengan pengambilan gambar buah pisang dari berbagai tingkat kematangan
3. Desain produk, berupa perancangan sistem klasifikasi berbasis pembelajaran mesin menggunakan platform *Edge Impulse*
4. Validasi desain, yakni pengujian awal terhadap model klasifikasi menggunakan dataset terpisah
5. Revisi desain, dilakukan berdasarkan hasil pengujian awal
6. Uji coba produk, yaitu mengintegrasikan model ke dalam perangkat ESP32-CAM untuk pengujian secara langsung (*on-device testing*)
7. Revisi akhir, sebagai tahap penyempurnaan sistem secara keseluruhan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Melalui pendekatan ini, penelitian bertujuan menghasilkan sistem klasifikasi yang tidak hanya akurat, tetapi juga dapat diterapkan secara langsung di lapangan, terutama pada proses sortir dan distribusi buah pisang. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata dalam bidang pertanian cerdas (*smart agriculture*) berbasis teknologi IoT dan kecerdasan buatan.

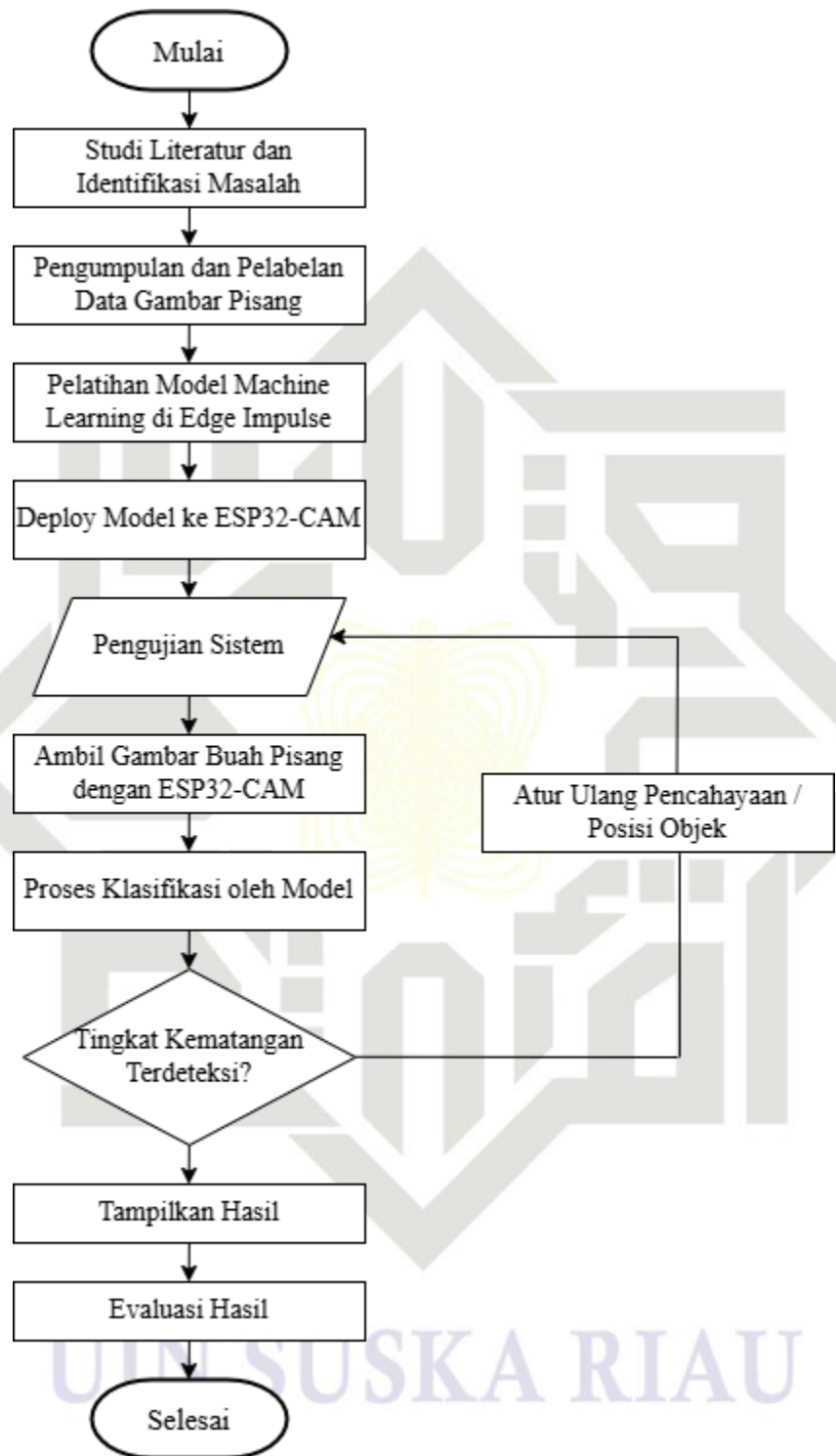
Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk memahami teori dan metode klasifikasi kematangan buah pisang menggunakan ESP32-CAM dan Edge Impulse. Selanjutnya, data citra pisang dari tiga tingkat kematangan dikumpulkan menggunakan ESP32-CAM dan dipersiapkan melalui proses preprocessing. Data tersebut kemudian digunakan untuk melatih model klasifikasi di platform Edge Impulse, yang kemudian diimplementasikan pada perangkat ESP32-CAM. Terakhir, sistem diuji untuk mengevaluasi kinerja hasil dari klasifikasi.

Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan yang disusun secara berurutan untuk mencapai tujuan pengembangan sistem klasifikasi kematangan buah pisang berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse. Alur penelitian ini mencakup proses mulai dari studi literatur hingga evaluasi akhir terhadap kinerja sistem. Untuk memudahkan pemahaman terhadap langkah-langkah yang dilakukan, berikut disajikan diagram alur penelitian dalam bentuk flowchart.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3. 1 Flowchart Prosedur Penelitian

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

1. Studi Literatur dan Identifikasi Masalah

2. Pengumpulan dan Pelabelan Data Gambar Pisang

III-4

platform *Edge Impulse*, dan digunakan sebagai dasar dalam proses pelatihan model klasifikasi berbasis machine learning.

3. Pelatihan Model Machine Learning di Edge Impulse

Setelah dataset gambar buah pisang terkumpul dan dilabeli, tahap berikutnya adalah melatih model klasifikasi menggunakan platform *Edge Impulse*. Dataset yang telah disiapkan diunggah ke akun proyek yang telah dibuat di Edge Impulse. Platform ini menyediakan antarmuka untuk melakukan prapemrosesan data, ekstraksi fitur, pemilihan algoritma, dan pelatihan model secara visual maupun berbasis kode. Model yang digunakan adalah jenis klasifikasi citra berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)*, yang mampu mengenali pola visual dalam gambar untuk membedakan tingkat kematangan buah pisang. Dataset dibagi menjadi data pelatihan dan data validasi untuk memastikan model tidak mengalami overfitting. Setelah proses pelatihan selesai, Edge Impulse akan menampilkan nilai akurasi, loss, confusion matrix, dan metrik lainnya sebagai indikator performa model. Jika hasil pelatihan belum memuaskan, dilakukan iterasi dengan menambah data, memperbaiki pelabelan, atau menyesuaikan parameter pelatihan hingga diperoleh model dengan performa yang baik dan stabil.

4. Deploy Model ke ESP32-CAM

Setelah model machine learning berhasil dilatih dengan tingkat akurasi yang memadai, tahap selanjutnya adalah melakukan *deployment* model ke dalam perangkat ESP32-CAM. Edge Impulse menyediakan fitur untuk mengonversi model yang telah dilatih menjadi format khusus berupa library C++ (.zip atau .h/.cpp) yang dapat diintegrasikan ke dalam proyek Arduino IDE atau PlatformIO. File model tersebut kemudian dimasukkan ke dalam program utama ESP32-CAM, yang dirancang untuk mengambil gambar secara langsung dan menjalankan proses inferensi (*classification*) menggunakan model yang tertanam. Dalam tahap ini, perhatian diberikan pada ukuran model dan efisiensi komputasi, mengingat keterbatasan memori dan daya pemrosesan dari ESP32-CAM. Pengujian awal dilakukan untuk memastikan model dapat berjalan secara *offline*, tanpa memerlukan koneksi internet, serta mampu mengidentifikasi tingkat kematangan buah pisang secara real-time dengan kecepatan dan akurasi yang memadai. Tahap ini merupakan titik penting

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Statistik Ilmiah
Ilmu Pendidikan
Universitas Sultan Syarif Kasim Riau

dalam membuktikan bahwa sistem klasifikasi dapat bekerja mandiri di perangkat edge (*edge AI*).

5. Pengujian Sistem di Lapangan

Setelah proses *deployment* berhasil dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian sistem secara langsung di lapangan menggunakan perangkat ESP32-CAM. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi performa model klasifikasi dalam kondisi nyata, di mana pencahayaan, posisi objek, dan latar belakang dapat bervariasi. ESP32-CAM digunakan untuk mengambil gambar buah pisang secara langsung, lalu model yang tertanam di dalamnya akan memproses gambar tersebut dan mengklasifikasikan tingkat kematangannya. Hasil klasifikasi ditampilkan melalui *serial monitor* atau media tampilan lain, tergantung dari konfigurasi sistem. Dalam proses ini, sistem juga diuji kemampuannya dalam menghadapi kondisi lingkungan yang tidak ideal, seperti cahaya redup atau posisi objek yang tidak tepat. Jika sistem gagal mengklasifikasikan gambar dengan baik, maka dilakukan penyesuaian seperti memperbaiki pencahayaan atau mengatur ulang posisi objek, sebelum gambar diambil kembali. Pengujian ini juga menjadi dasar evaluasi terhadap ketepatan klasifikasi, kecepatan respons, dan konsistensi hasil pada berbagai variasi data input.

6. Proses Klasifikasi oleh Model

Proses klasifikasi dilakukan secara langsung pada perangkat ESP32-CAM menggunakan model machine learning yang telah di-*deploy* sebelumnya. Setelah gambar diambil oleh kamera, data citra tersebut diproses oleh model klasifikasi yang tertanam di dalam mikrokontroler. Model akan melakukan ekstraksi fitur dari citra dan membandingkannya dengan pola-pola yang telah dipelajari selama pelatihan untuk menentukan tingkat kematangan buah pisang. Hasil klasifikasi berupa label kelas (misalnya: setengah matang, matang, atau busuk) beserta nilai *confidence score* ditampilkan melalui serial monitor atau media output lain yang digunakan. Jika *confidence score* rendah atau klasifikasi tidak sesuai, maka sistem memungkinkan dilakukan penyesuaian seperti menambah pencahayaan atau mengubah posisi objek, lalu gambar diambil kembali untuk diproses ulang. Tahapan ini merupakan inti dari fungsi sistem klasifikasi berbasis edge AI, karena

3.3 Perangkat dan Aplikasi pada Penelitian

Adapun perangkat dan aplikasi yang digunakan pada penelitian Klasifikasi Kematangan Pisang Berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse ini adalah :

1. Laptop : Spesifikasi yang digunakan yaitu, Processor Intel Core i3-4005U, 1.7GHz dan RAM 4 GB
2. Pisang : Objek yang akan diidentifikasi. Baik berupa bentuk fisik buahnya maupun melalui dataset gambar dari pisang itu sendiri
3. Mikrokontroller ESP32-CAM : Perangkat keras yang digunakan untuk pengumpulan dataset dan digunakan untuk implementasi deteksi objek.
4. Kamera OV2640 : Komponen yang terpasang pada ESP32-CAM untuk menangkap gambar pisang.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Design Sistem

Design Sistem dalam penelitian ini menggambarkan rancangan menyeluruh dari proses kerja klasifikasi tingkat kematangan buah pisang berbasis citra digital. Sistem dirancang dengan memanfaatkan satu sumber catu daya yang berasal dari power bank atau baterai yang berfungsi untuk mengaktifkan modul ESP32-CAM sebagai komponen inti. Buah pisang menjadi objek utama yang citranya diambil oleh ESP32-CAM untuk kemudian diproses. Gambar hasil tangkapan dikirim ke model klasifikasi berbasis kecerdasan buatan yang sebelumnya telah dilatih melalui platform Edge Impulse. Model ini berperan dalam mengidentifikasi tingkat kematangan pisang dan mengklasifikasikannya kedalam salah satu dari tiga kategori yaitu: setengah matang, matang, atau busuk. Informasi hasil klasifikasi ditampilkan secara langsung melalui layar OLED berukuran 0,96 inci sebagai keluaran visual, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi tingkat kematangan secara real-time. Sistem ini dirancang dengan mempertimbangkan prinsip kesederhanaan, efisiensi, serta kemudahan penerapan dalam berbagai kondisi, baik di lingkungan laboratorium maupun lapangan. *Design sistem* alat yang akan dibuat digambarkan melalui gambar diagram blok sistem seperti dibawah.

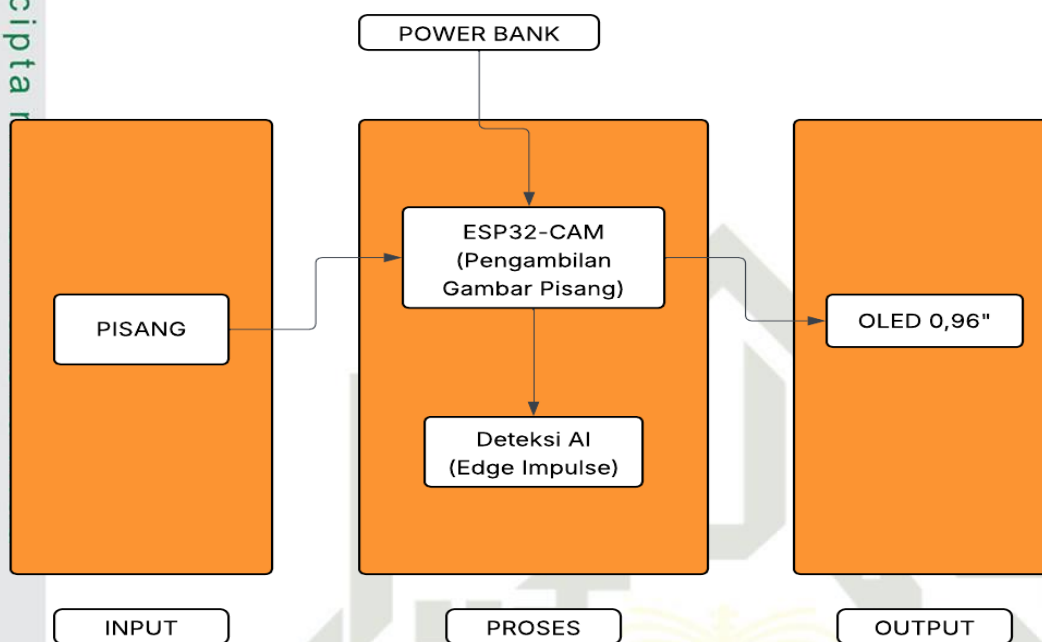
- Platform Edge Impulse : Digunakan untuk melatih model dan mengoptimalkan model AI dalam identifikasi tingkat kematangan pisang.
- Software Arduino IDE : Aplikasi yang digunakan untuk memprogram ESP32-CAM.
- Kabel Micro USB : Sebagai penghubung antara Laptop dengan ESP32-CAM

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

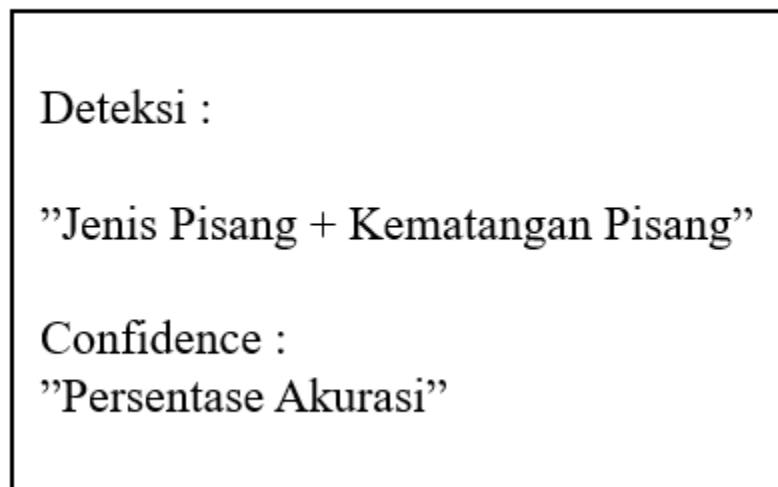
Pada gambar 3.2. Blok diagram sistem klasifikasi kematangan buah pisang ini terdiri dari tiga bagian utama, yaitu input, proses, dan output. Pada bagian input, objek yang digunakan adalah buah pisang yang akan dideteksi tingkat kematangannya berdasarkan visual citra. Pisang difungsikan sebagai data masukan berupa objek nyata yang kemudian gambarnya akan diambil oleh kamera.

Proses dimulai ketika ESP32-CAM melakukan pengambilan gambar buah pisang secara langsung. ESP32-CAM berperan sebagai perangkat utama sistem, sekaligus menjalankan proses klasifikasi menggunakan model kecerdasan buatan (AI) yang telah ditanamkan sebelumnya. Model AI tersebut merupakan hasil pelatihan menggunakan platform Edge Impulse, yang mampu membedakan tingkat kematangan pisang berdasarkan pola visual dari citra. Semua proses ini dilakukan secara lokal (di dalam perangkat), tanpa memerlukan koneksi internet, sehingga mendukung konsep *edge computing*. Seluruh sistem memperoleh sumber daya dari power bank, menjadikannya portabel dan praktis untuk digunakan di berbagai kondisi lapangan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Mockup Tampilan Oled



Gambar 3. 3 Identifikasi Mockup pada Layar OLED

Setelah proses klasifikasi selesai, hasilnya ditampilkan melalui perangkat output berupa layar OLED 0,96 inci. Layar ini menampilkan informasi tingkat kematangan pisang seperti "Setengah matang", "Matang", atau "Busuk" sesuai dengan hasil inferensi model. Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan secara real-time dan efisien untuk membantu proses identifikasi kematangan buah secara otomatis, terutama dalam konteks panen, distribusi, atau pengepakan.

3.5 Perancangan Alat

Dalam penelitian ini, perancangan alat atau *hardware* diarahkan pada pengembangan sistem klasifikasi kematangan buah pisang yang bersifat sederhana, portabel, serta hemat energi. Sistem ini memanfaatkan modul ESP32-CAM sebagai komponen utama yang berfungsi untuk menangkap gambar buah pisang dan mengirimkan data citra ke sistem pemrosesan. Selain itu, layar OLED berukuran 0,96 inci digunakan sebagai media untuk menampilkan hasil klasifikasi secara langsung. Sebagai sumber daya, digunakan power bank bertegangan 5 volt yang dihubungkan melalui kabel USB, guna mendukung pengoperasian alat secara mobile tanpa memerlukan sumber listrik tetap.

Hak Cipta Dituliskan oleh UIN Suska Riau

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

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

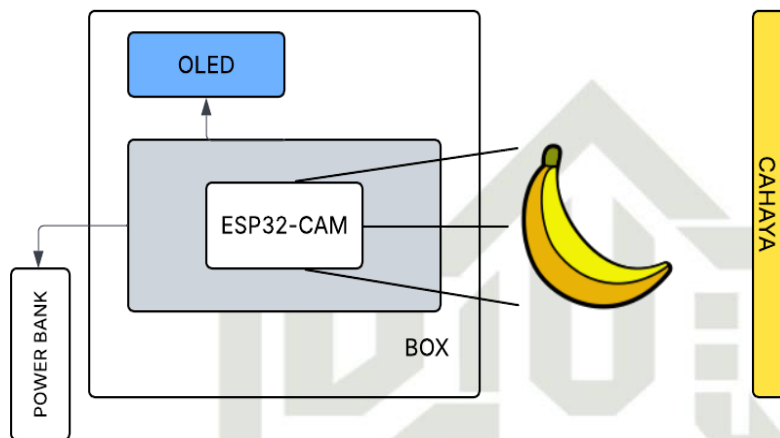
Modul ESP32-CAM yang telah terintegrasi dengan kamera internal dimanfaatkan untuk menangkap citra buah secara langsung di lapangan atau laboratorium. Hasil klasifikasi yang diperoleh dari pemrosesan citra oleh model kecerdasan buatan kemudian ditampilkan melalui layar OLED, yang terhubung ke ESP32-CAM melalui protokol komunikasi I2C. Proses pengkabelan antara kedua perangkat dilakukan melalui empat jalur utama, yaitu:

1. VCC pada OLED dihubungkan ke jalur 5V atau 3.3V pada ESP32-CAM (disesuaikan dengan kompatibilitas tegangan dari OLED yang digunakan).
2. GND OLED disambungkan ke GND pada ESP32-CAM.
3. SCL (Serial Clock Line) pada OLED dihubungkan ke GPIO 14 pada ESP32-CAM sebagai jalur clock I2C.
4. SDA (Serial Data Line) OLED terhubung ke GPIO 15 sebagai jalur data I2C.

Pengaturan koneksi tersebut dikonfigurasi di dalam program menggunakan Arduino IDE, sehingga memungkinkan komunikasi data antara ESP32-CAM dan OLED berjalan secara optimal. Jalur komunikasi I2C ini memungkinkan sistem untuk menampilkan informasi hasil klasifikasi secara waktu nyata (real-time) setelah proses identifikasi kematangan selesai dilakukan oleh model AI yang telah dilatih sebelumnya.

Seluruh komponen dirancang agar saling terintegrasi dan membentuk sistem mandiri yang dapat beroperasi tanpa tergantung pada sumber daya listrik eksternal. Dengan desain yang fleksibel dan efisien, alat ini dapat digunakan baik untuk pengujian di lingkungan laboratorium maupun saat pengambilan data di lapangan. Digunakan modul ESP32-CAM sebagai komponen utama untuk menangkap citra buah pisang. Modul ini dilengkapi dengan board tambahan sebagai antarmuka untuk koneksi daya dan pemrograman. Sumber daya untuk ESP32-CAM disuplai melalui kabel USB yang terhubung langsung ke power supply seperti dari power bank, baterai atau laptop. Untuk menampilkan informasi sederhana seperti status sistem atau hasil prediksi. Lalu digunakannya layar OLED berukuran 0,96 inci yang terhubung ke ESP32-CAM melalui komunikasi I2C. Proses pemrograman dan pengujian dilakukan menggunakan software Arduino IDE yang berjalan di laptop, sedangkan untuk pelatihan model klasifikasi dan manajemen dataset digunakan platform Edge Impulse yang juga diakses melalui laptop. Perancangan sistem difokuskan pada aspek kesederhanaan dan kemudahan portabilitas,

sehingga mempermudah proses pengujian dan pengembangan baik di lingkungan laboratorium maupun di lapangan.



Gambar 3. 4 Perancangan Alat

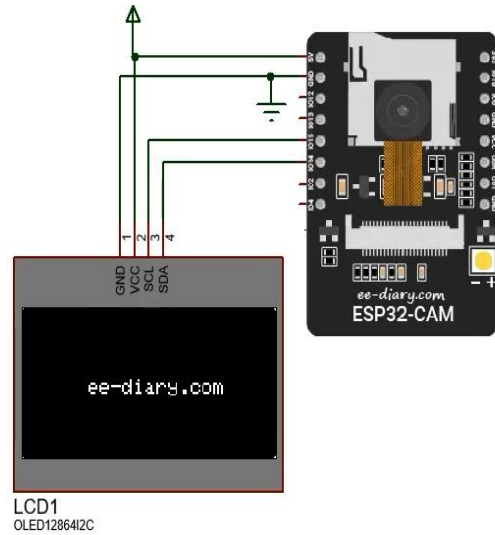
Pada gambar 3.4 perancangan alat di atas menunjukkan posisi dan interaksi antar komponen utama dalam sistem klasifikasi kematangan buah pisang menggunakan ESP32-CAM. Pada bagian tengah terlihat modul ESP32-CAM yang berfungsi sebagai otak dari sistem, sekaligus perangkat pengambil gambar (*kamera*) yang mengarah langsung ke objek buah pisang. Kamera ini bertugas mengambil citra visual pisang yang akan dianalisis tingkat kematangannya menggunakan model AI yang telah tertanam sebelumnya melalui platform Edge Impulse.

Di bagian kanan gambar ditampilkan buah pisang sebagai objek utama, dengan sumber cahaya buatan yang ditempatkan di belakangnya untuk memberikan pencahayaan yang cukup dan merata ke seluruh permukaan buah. Pencahayaan ini penting untuk memastikan hasil citra yang diambil oleh ESP32-CAM memiliki kontras dan kualitas yang optimal sehingga proses klasifikasi menjadi lebih akurat.

Hasil klasifikasi yang dilakukan oleh ESP32-CAM akan ditampilkan pada layar OLED, yang terhubung secara langsung ke modul. OLED ini menampilkan informasi berupa kategori kematangan buah pisang, seperti “Setengah matang”, “Matang”, atau “Busuk”. Sistem ini juga menggunakan sumber daya dari power bank yang tidak ditampilkan dalam gambar, sehingga alat dapat digunakan secara portabel di berbagai lokasi tanpa tergantung listrik utama.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3. 5 Pengkabelan ESP32-CAM dengan OLED 0,96 inch

Rangkaian pada gambar 3.5 menunjukkan hubungan antara modul ESP32-CAM dengan sebuah layar OLED 0,96 inci berbasis komunikasi I2C (dengan IC SSD1306). Komponen OLED dihubungkan menggunakan empat jalur utama, yaitu GND, VCC, SCL, dan SDA. Pin GND dari OLED dihubungkan ke GND pada ESP32-CAM untuk menyamakan referensi tegangan. Selanjutnya, VCC OLED dihubungkan ke pin 3.3V pada ESP32-CAM sebagai sumber catu daya.

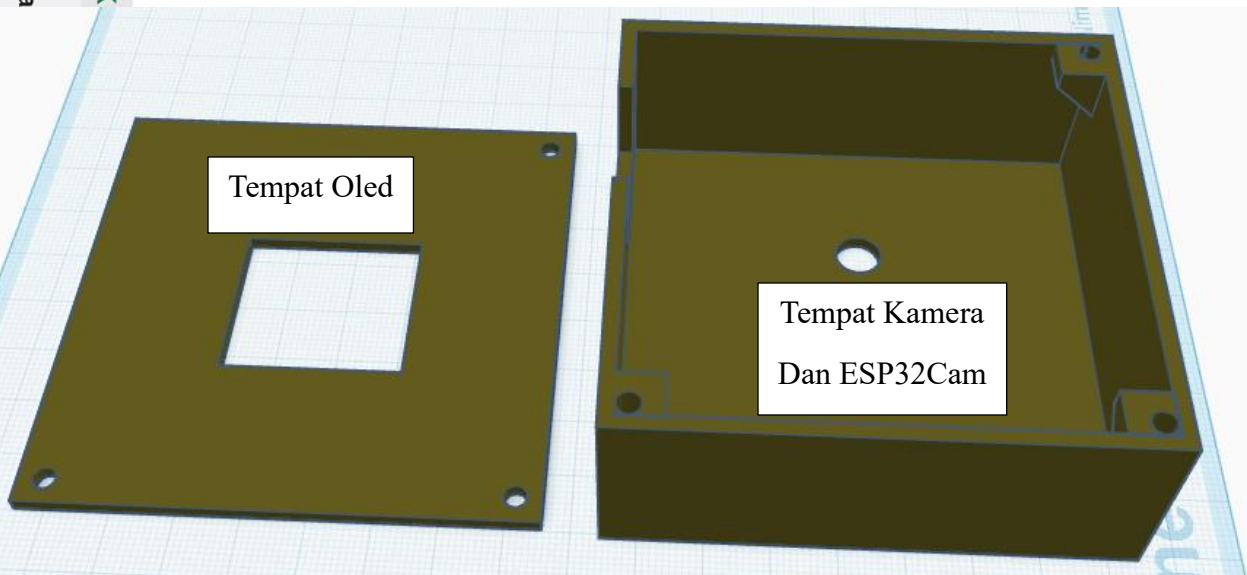
Untuk komunikasi data, digunakan protokol I2C dengan dua pin: SCL (Serial Clock Line) dan SDA (Serial Data Line). Dalam rangkaian ini, pin SCL OLED dihubungkan ke GPIO14 pada ESP32-CAM, sedangkan pin SDA OLED dihubungkan ke GPIO15. Kedua pin ini berfungsi sebagai jalur utama komunikasi antara ESP32-CAM dan OLED agar data hasil klasifikasi dapat ditampilkan pada layar.

UIN SUSKA RIAU

1. Dilarang menjiplak atau sebarang cara lain tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 6 Desain 3D

Rangkaian ini memungkinkan ESP32-CAM tidak hanya mengambil gambar dan menjalankan proses klasifikasi berbasis AI, tetapi juga menampilkan hasilnya langsung secara real-time di layar OLED. Seluruh rangkaian menggunakan tegangan rendah 3.3V, sehingga efisien dan cocok untuk sistem portabel berbasis power bank.

3.6 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan tujuan utama, yaitu merancang dan membangun sistem klasifikasi tingkat kematangan buah pisang. Sistem ini menggunakan dataset citra buah pisang yang diperoleh melalui kamera ESP32-CAM, dengan pemrosesan dan pelatihan model klasifikasi dilakukan menggunakan platform Edge Impulse.

3.6.1 Pengumpulan Dataset

Pada penelitian ini, proses pengumpulan dataset dilakukan secara langsung menggunakan mikrokontroler ESP32-CAM yang dilengkapi modul kamera internal. Kamera tersebut berfungsi untuk mengambil citra buah pisang dengan variasi tingkat

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

kematangan. Gambar-gambar yang diperoleh akan digunakan sebagai sumber data pelatihan dalam pengembangan model klasifikasi kematangan buah pisang.

1. Tujuan Pengambilan Dataset

Pengambilan dataset bertujuan untuk membedakan buah pisang berdasarkan tiga kategori kematangan, yaitu:

- a. Pisang Setengah matang – ditandai dengan kulit berwarna hijau tanpa rona kuning.
- b. Pisang Matang – memiliki kulit berwarna kuning merata, kadang disertai bintik coklat kecil.
- c. Pisang Busuk – memperlihatkan warna kulit gelap (cokelat kehitaman) serta tekstur lembek sebagai tanda pembusukan.

Setiap kategori kematangan dikumpulkan minimal sebanyak 50 gambar untuk memastikan keberagaman data dalam setiap kelas, sehingga model klasifikasi dapat mengenali perbedaan fitur visual secara lebih akurat.

2. Kondisi Pengambilan Gambar

Agar hasil citra yang dikumpulkan konsisten dan memenuhi syarat pengolahan oleh sistem, pengambilan gambar dilakukan dengan memperhatikan beberapa kondisi teknis sebagai berikut:

- a. Setiap gambar hanya menampilkan satu buah pisang sebagai objek utama.
- b. Jarak kamera ke objek sekitar 20 cm untuk menjaga proporsi citra.
- c. Latar belakang dibuat polos, menggunakan warna putih atau hitam agar citra tidak terganggu oleh elemen lain.
- d. Pencahayaan dijaga stabil, baik dari cahaya alami (misalnya sinar matahari pagi) maupun cahaya buatan (lampu LED putih).
- e. Pengambilan dilakukan dari sudut pandang lurus ke depan (frontal) untuk menjaga keseragaman orientasi objek.

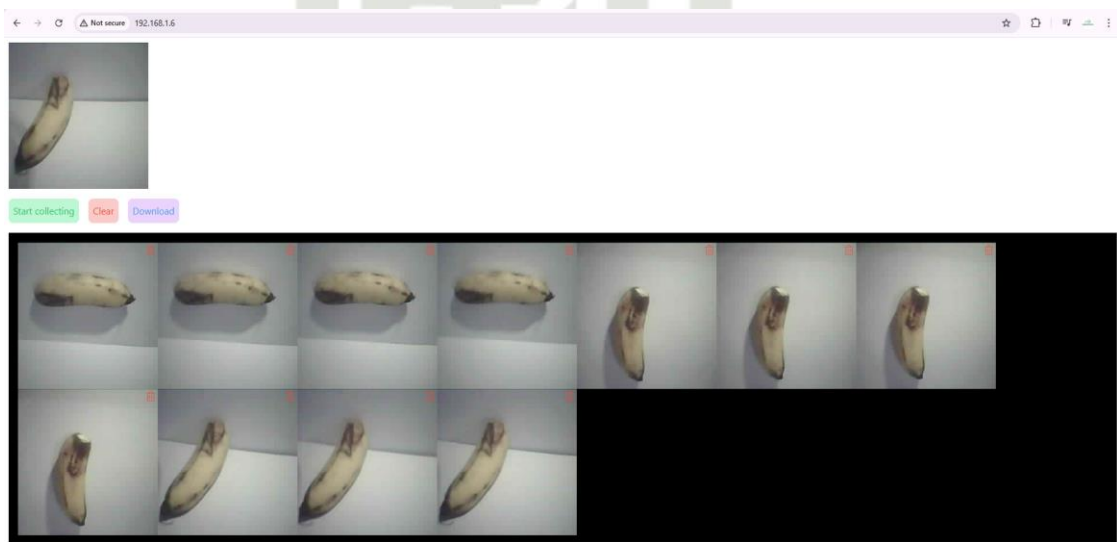
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

3. Penyimpanan dan Pelabelan

Setelah gambar diambil, file citra disimpan dalam format JPEG. Tahap selanjutnya adalah mengunggah citra tersebut ke platform Edge Impulse, di mana setiap gambar diberi label manual sesuai kondisi objek pada gambar.

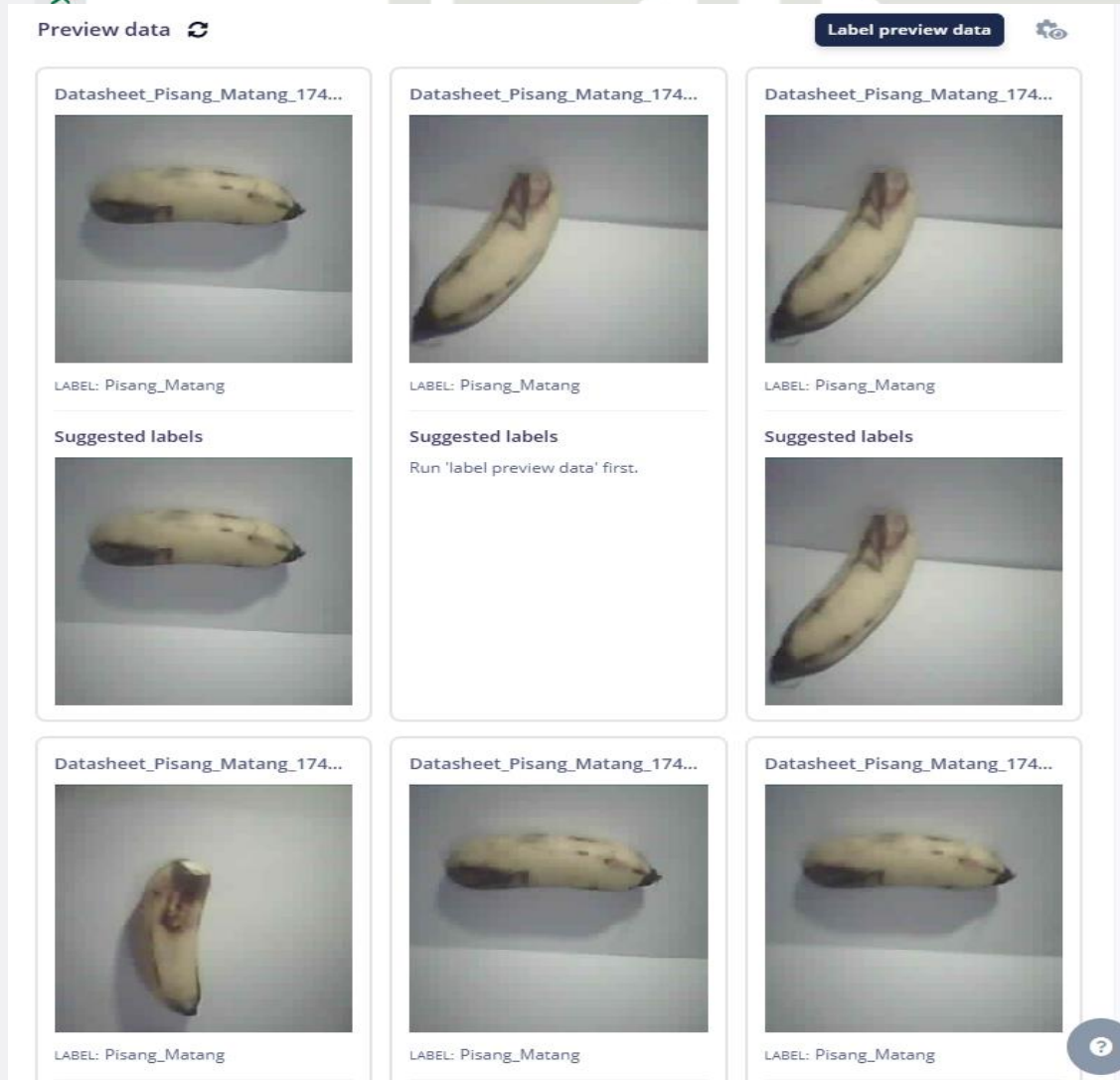
Labeling dilakukan menggunakan kategori “setengah matang”, “matang”, atau “busuk” agar setiap data memiliki identitas kelas yang sesuai dan dapat digunakan sebagai acuan dalam proses pelatihan model klasifikasi.



Gambar 3. 7 Pengambilan Foto Pisang untuk Dataset

3.6.2 Preprocessing Dataset

Tahap Preprocessing Dataset dalam penelitian ini dilakukan secara menyeluruh menggunakan platform Edge Impulse Studio. Proses dimulai dengan membuat proyek baru di dalam platform dan memberi nama sesuai kebutuhan penelitian. Setelah proyek dibuat, seluruh dataset citra buah pisang diunggah ke dalam sistem dan diberi label sesuai dengan tingkat kematangan, yaitu setengah matang, matang, dan busuk. Tampilan proses pelabelan dataset dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah.



Gambar 3. 8 Labeling Dataset

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Langkah berikutnya adalah melakukan konfigurasi Impulse, yaitu proses penentuan jenis proyek yang digunakan. Dalam penelitian ini, jenis proyek yang dipilih adalah image classification (klasifikasi gambar), karena sistem hanya perlu mengenali kategori kematangan dari satu objek pisang dalam satu citra. Pada konfigurasi ini juga ditentukan ukuran input gambar, yakni 96x96 piksel, untuk menyesuaikan dengan kemampuan komputasi dari perangkat ESP32-CAM.

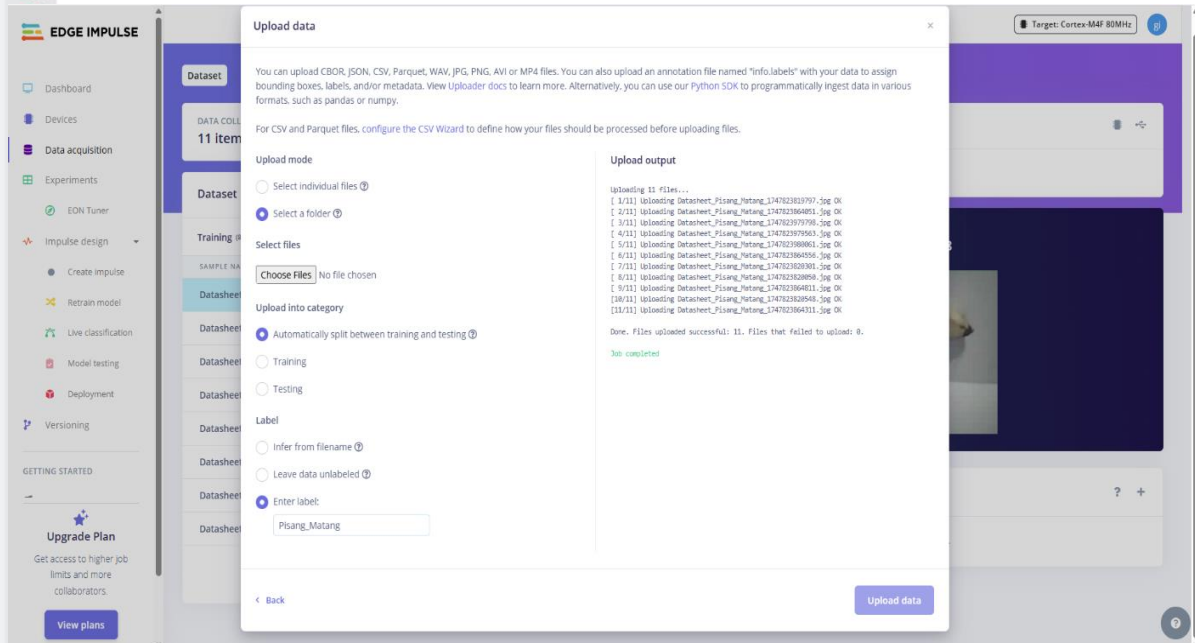
Setelah konfigurasi disimpan, dilakukan proses Generate Features, di mana setiap gambar yang telah dilabeli akan diekstraksi menjadi representasi numerik menggunakan metode pengolahan citra internal dari Edge Impulse. Hasil dari proses ini divisualisasikan dalam bentuk grafik distribusi fitur, yang berfungsi untuk memeriksa apakah dataset tersebar secara merata antar kelas dan tidak ada ketimpangan dominasi data.

Dataset yang telah selesai melalui tahap labeling dan pembuatan impulse secara otomatis akan dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu data pelatihan (training) dan data validasi (validation), dengan proporsi default sebesar 80:20. Namun dalam pengaturan lanjutan, sistem juga memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan rasio pembagian ini secara manual.

Selanjutnya, dilakukan pelatihan awal (initial training) untuk menguji respons awal model terhadap data yang telah diproses. Pengguna dapat mengatur parameter pelatihan seperti jumlah epoch, learning rate, serta memilih arsitektur model. Dalam penelitian ini digunakan model MobileNetV2, yang dikenal efisien dan ringan sehingga cocok digunakan pada perangkat dengan sumber daya terbatas seperti ESP32-CAM. Tampilan konfigurasi pengaturan pelatihan dapat dilihat pada gambar 3.8. Setelah proses pelatihan selesai, platform Edge Impulse akan menampilkan metrik performa seperti akurasi, presisi, dan recall sebagai dasar evaluasi sebelum model diterapkan ke perangkat keras.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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



Gambar 3. 9 Training Settings

3.7 Rancangan Pengujian

Rancangan pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem klasifikasi kematangan buah pisang yang telah dikembangkan, baik dari sisi akurasi klasifikasi, waktu inferensi, maupun keandalan sistem dalam kondisi lapangan. Pengujian dilakukan setelah model machine learning di-deploy ke perangkat ESP32-CAM dan sistem siap digunakan secara mandiri tanpa koneksi internet (*edge computing*).

Pengujian dilakukan dengan menyiapkan sampel buah pisang dari tiga kategori kematangan, yaitu setengah matang, matang, dan busuk. Setiap sampel difoto secara langsung oleh ESP32-CAM dalam kondisi pencahayaan yang dikontrol. Gambar yang diambil kemudian secara otomatis diklasifikasikan oleh model, dan hasil klasifikasinya direkam melalui tampilan serial monitor atau output digital lainnya.

Untuk mengetahui akurasi sistem, hasil klasifikasi dibandingkan dengan label sebenarnya (*ground truth*) berdasarkan observasi manual. Setiap hasil klasifikasi akan dicatat dan dibandingkan untuk menghitung nilai akurasi (% klasifikasi benar dari total pengujian), serta *precision* dan *recall* jika diperlukan. Selain itu, dilakukan pengujian dalam beberapa kondisi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber dan menyebutkan Sumber: 4

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

lingkungan, seperti pencahayaan redup atau objek yang sedikit miring, guna mengetahui daya tahan sistem terhadap variasi input.

Pengujian juga mencatat waktu proses klasifikasi (waktu antara pengambilan gambar dan munculnya hasil), untuk menilai kecepatan inferensi sistem. Selain itu, bila sistem gagal mengklasifikasikan objek (misalnya confidence rendah atau salah klasifikasi), maka dicatat sebagai bagian dari evaluasi batasan sistem.

Untuk memastikan sistem klasifikasi bekerja sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka dilakukan serangkaian pengujian yang dirancang secara sistematis. Pengujian ini mencakup aspek akurasi, kecepatan inferensi, serta keandalan sistem dalam menghadapi variasi kondisi lingkungan seperti pencahayaan dan posisi objek. Setiap pengujian dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang telah ditentukan dan dicatat dalam lembar pengamatan untuk dianalisis lebih lanjut. Adapun rencana pengujian secara umum dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 1 Tabel Rencana Pengujian

Kategori Pengujian	Parameter yang Diamati	Tujuan Pengujian	Metode Pengujian
Akurasi Klasifikasi	Kesesuaian hasil klasifikasi dengan label sebenarnya	Mengukur akurasi sistem klasifikasi buah pisang	Membandingkan hasil klasifikasi dan label manual
Ketepatan Kondisi Variatif	Respons sistem terhadap pencahayaan dan posisi objek	Mengukur ketahanan sistem terhadap kondisi nyata	Menguji klasifikasi pada variasi pencahayaan/posisi
Kecepatan Inferensi	Waktu dari pengambilan gambar hingga output tampil	Menilai kecepatan klasifikasi sistem secara real-time	Menggunakan stopwatch atau log waktu di serial
Keandalan Output (Confidence)	Nilai confidence hasil klasifikasi model	Menilai tingkat keyakinan sistem terhadap hasilnya	Merekam confidence score dari model Edge Impulse

Berdasarkan rencana pengujian yang telah dijabarkan dalam tabel 3.1, setiap parameter yang diuji akan diamati dan dicatat secara sistematis selama proses pengujian berlangsung. Data hasil klasifikasi, waktu pemrosesan, serta kondisi lingkungan pada saat pengambilan

gambar akan digunakan sebagai bahan analisis untuk menilai performa sistem secara keseluruhan.

Untuk memudahkan pencatatan data dan observasi selama proses pengujian, disiapkan format lembar pengamatan yang digunakan oleh peneliti. Lembar ini digunakan untuk mencatat hasil klasifikasi dari sistem ESP32-CAM terhadap gambar buah pisang, serta mencatat parameter-parameter penting lainnya yang memengaruhi hasil klasifikasi. Berikut adalah format lembar pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3.2 Format Lembar Pengamatan Pengujian

Gambar Ke	Label Manual	Hasil Klasifikasi	Confidence (%)	Waktu Proses (s)	Kondisi Pencahayaan	Posisi Objek	Keterangan

Data yang diperoleh dari lembar pengamatan tabel 3.2 akan dianalisis pada bab selanjutnya untuk mengevaluasi performa sistem klasifikasi kematangan buah pisang berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse. Analisis mencakup tingkat akurasi sistem, kecepatan proses klasifikasi, serta konsistensi hasil pada berbagai kondisi pengujian. Hasil pengujian ini diharapkan dapat memberikan gambaran objektif terhadap keandalan sistem dalam aplikasi nyata di lapangan, sekaligus menjadi dasar untuk pengembangan sistem lebih lanjut di masa mendatang.

3.8 Desain Sistem

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai desain sistem yang dikembangkan untuk melakukan klasifikasi tingkat kematangan buah pisang secara otomatis menggunakan ESP32-CAM dan platform Edge Impulse. Desain sistem mencakup perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang saling terintegrasi, sehingga mampu menangkap citra buah pisang, memprosesnya melalui model klasifikasi berbasis machine learning, dan menampilkan hasil klasifikasinya pada layar OLED secara langsung.

3.8.1 Rangkaian Sistem

Rangkaian sistem pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu modul ESP32-CAM sebagai mikrokontroler sekaligus kamera untuk menangkap citra buah pisang, layar OLED sebagai media untuk menampilkan hasil klasifikasi, serta koneksi ke internet untuk melakukan proses inferensi ke model yang telah ditanamkan melalui Edge Impulse. ESP32-CAM bertugas mengirimkan citra ke model klasifikasi yang telah ditanam secara lokal (offline) atau secara online melalui koneksi WiFi, lalu menampilkan output berupa label tingkat kematangan buah matang, setengah matang dan busuk pada OLED. Rangkaian ini dirancang agar portabel dan mudah diaplikasikan di lapangan. Skema rangkaian sistem secara umum ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 3. 10 Rangkaian PCB menggunakan ESP32-CAM dan OLED

Gambar di atas menunjukkan desain PCB sebagai penghubung antara modul ESP32-CAM dengan layar OLED. Rangkaian ini berfungsi untuk menyederhanakan sambungan antar komponen sehingga lebih praktis dan rapi. Jalur-jalur pada PCB menghubungkan pin output dari ESP32-CAM ke pin input OLED sesuai konfigurasi komunikasi I2C, serta menyediakan jalur suplai tegangan dan ground secara langsung.

3.8.2 Konstruksi Sistem

Konstruksi sistem merupakan tahap perakitan komponen perangkat keras ke dalam sebuah wadah atau media fisik agar dapat digunakan secara praktis dan terlindung dari gangguan luar. Dalam penelitian ini, komponen utama seperti ESP32-CAM dan OLED dirakit ke dalam sebuah box pelindung agar sistem dapat digunakan di lapangan secara stabil. Box ini dirancang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

untuk menampung seluruh rangkaian elektronik dan memastikan modul kamera memiliki ruang pandang yang cukup untuk menangkap citra buah pisang dengan baik. Selain itu, konstruksi fisik sistem juga mempertimbangkan kemudahan akses untuk proses pemrograman, pengisian daya, dan pemeliharaan.



Gambar 3. 11 Tampilan Fisik Sistem Klasifikasi dalam box pelindung

Gambar di atas menunjukkan bentuk fisik sistem setelah semua komponen terpasang di dalam box. Modul ESP32-CAM ditempatkan menghadap ke luar melalui lubang pada sisi box agar kamera dapat menangkap citra objek secara langsung. Layar OLED dipasang di bagian depan box untuk menampilkan hasil klasifikasi secara real-time. Tata letak komponen dalam box disusun sedemikian rupa agar rapi, aman dari hubungan pendek (short circuit), serta memudahkan aliran udara untuk mencegah panas berlebih saat sistem bekerja.

3.9 Evaluasi Sistem

Evaluasi terhadap sistem klasifikasi kematangan buah pisang dilakukan dengan menggunakan sejumlah metrik evaluasi yang bersifat kuantitatif, di antaranya adalah akurasi, presisi, recall, dan F1-score. Proses pengujian dilakukan dengan memanfaatkan data uji yang telah dipisahkan dari data pelatihan, guna menilai kemampuan model dalam mengklasifikasikan gambar pisang yang sebelumnya belum pernah dianalisis. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sistem mampu mengenali kategori kematangan pisang, yaitu setengah matang, matang, dan busuk, dengan tingkat ketepatan yang baik.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Sebagai pelengkap, proses evaluasi juga menyertakan visualisasi berupa confusion matrix yang digunakan untuk menggambarkan distribusi prediksi yang dihasilkan oleh model. Matriks ini memuat informasi mengenai jumlah prediksi yang benar dan yang salah untuk setiap kelas, sehingga dapat digunakan untuk menganalisis kekuatan dan kelemahan dari model klasifikasi yang dibangun. Hasil evaluasi ini menjadi dasar dalam menilai kelayakan sistem sebelum diterapkan secara langsung pada perangkat ESP32-CAM.

Tabel 3. 3 Hasil Evaluasi Metrik Kinerja Model

Kelas	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-1 Score (%)
Setengah matang				
Matang				
Busuk				

Tabel 3. 4 Persentase Keberhasilan

Kondisi Pisang	Pengujian	Pengambilan Posisi				Akurasi Keberhasilan
		Atas	Bawah	Kiri	Kanan	

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi yang telah dilakukan pada sistem klasifikasi kematangan buah pisang berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dikembangkan dengan menggunakan ESP32-CAM sebagai perangkat utama untuk pengambilan gambar, serta platform Edge Impulse sebagai sarana pelatihan model klasifikasi citra berbasis kecerdasan buatan. Model yang telah dilatih kemudian diintegrasikan ke dalam ESP32-CAM dalam bentuk library Arduino, dan dapat dijalankan secara *offline*.
2. sistem klasifikasi kematangan buah pisang berbasis ESP32-CAM dan Edge Impulse mampu berjalan secara real-time dengan rata-rata akurasi mencapai 83,83%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem ini efektif dalam mengidentifikasi tingkat kematangan buah pisang.
3. Proses pelatihan model di Edge Impulse menghasilkan model klasifikasi berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)* yang mampu mengenali fitur visual dari gambar pisang secara cukup akurat. Pengujian menggunakan data uji menghasilkan tingkat akurasi yang baik, dengan beberapa kelas menunjukkan performa lebih tinggi dibanding kelas lain.
4. Sistem berhasil melakukan klasifikasi secara langsung di perangkat ESP32-CAM dan menampilkan hasilnya ke layar OLED dalam bentuk label kelas yang sesuai. Respon sistem tergolong cepat dan stabil, dengan waktu inferensi yang tidak lebih dari 1 detik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut sistem klasifikasi kematangan pisang ini adalah sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim R

Jumlah dan variasi gambar untuk masing-masing kelas pisang perlu ditingkatkan, terutama untuk kelas yang memiliki tingkat kemiripan visual tinggi seperti "setengah matang" dan "matang". Penambahan data dari berbagai kondisi pencahayaan, latar belakang, dan sudut pengambilan gambar dapat meningkatkan akurasi model secara signifikan.

2. Disarankan untuk menambahkan pencahayaan buatan seperti LED white light agar pencitraan lebih konsisten dan tidak terlalu dipengaruhi oleh cahaya lingkungan sekitar, terutama saat digunakan di luar ruangan atau area minim cahaya.

Untuk meningkatkan efisiensi pemrosesan dan mengurangi penggunaan memori pada ESP32-CAM, dapat digunakan model yang sudah dikompresi (*quantized model*), yang tetap akurat namun lebih ringan dijalankan di perangkat embedded.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zainul, M. Profil Perubahan Sifat Enjinering Buah Pisang Raja (*Musa paradisiaca*) Selama Proses Pemeraman Buatan. Jember: Universitas Jember, 2020.
- [2] Ajiun, A. Klasifikasi Citra pada Tingkat Kematangan Buah Pisang Menggunakan Algoritma Deep Learning. Jurnal Ekonomi, Manajemen, Sosial dan Informatika (JEMSI), Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dinasti. Vol. 5, No. 3, 2024.
- [3] Badan Pusat Statistik (BPS). Produksi Tanaman Buah-buahan. Diakses dari: <https://www.bps.go.id/id/>
- [4] FAO. (2021). The State of Food and Agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization.
- [5] Badan Standardisasi Nasional (BSN). Buah Pisang – Cara Uji dan Klasifikasi Tingkat Kematangan Berdasarkan Warna Kulit. Jakarta: Standar Nasional Indonesia SNI 7422:2009, 2009.
- [6] Ziliwu, J.R., Setyawan, G.C., & Budiati, H. Penerapan ESP32-CAM dan TinyML dalam Klasifikasi Gambar Buah dan Sayuran. Yogyakarta : JUTISI – Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi Vol. 13, No. 1, 2024
- [7] Wijaya, A., & Prasetyo, E. Perubahan Parameter Fisikokimia Pisang Selama Proses Pematangan. Malang: *Jurnal Teknologi Pertanian*, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Vol. 20, No. 1, 2019.
- [8] Aditya Dwi Putro, Arief Hermawan, “Pengaruh Cahaya dan Kualitas Citra dalam Klasifikasi Kematangan Pisang Cavendish Berdasarkan Ciri Warna Menggunakan Artificial Neural Network,” Jurnal Matrik, 2021.
- [9] Darto, Murinto, “Deteksi Kematangan Buah Pisang Berdasarkan Warna Kulit dengan Transformasi HSI,” Jurnal JUITA, 2020.
- [10] S. T. Wahyuni dan A. R. Prasetyo, "Klasifikasi Kematangan Buah Pisang Menggunakan Metode *Convolutional Neural Network*," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 8, 2023
- [11] D. Putra, Pengolahan citra digital, Andi, 2010.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [12] Amani, C.S. Sistem Deteksi Keretakan Telur Ayam Berbasis Artificial Intelligence Menggunakan ESP32-CAM. Surabaya: Fakultas Teknologi dan Informatika, Universitas Dinamika, 2025
- [13] Fikriya, N., Hartati, S., & Sarwosri. Implementasi Algoritma Machine Learning untuk Klasifikasi Data Menggunakan Metode Naïve Bayes dan K-Nearest Neighbor (KNN). Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA), Vol. 6, No. 2, 2017
- [14] Saputra, R. D., & Siregar, R. H. Pengembangan Prototipe Sistem Otomatisasi Rumah Berbasis Arduino dan Sensor Internet of Things (IoT). Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, Vol. 9, No. 4, 2021
- [15] Maulana, F.F., Rochmawati, N. Klasifikasi Citra Buah Menggunakan *Convolutional Neural Network*. s.l. : Journal of Informatics and Computer Science, Vol. 01, 2019.
- [16] Adi, P.D.P., & Wahyu, Y. Performance Evaluation of ESP32 Camera Face Recognition for Various Projects. Semarang: Internet of Things and Artificial Intelligence Journal, Vol. 2, No. 1, hlm. 10–21, 2022.
- [17] Y. Li, Y. Zhao, L. Liu, Y. Wang, and C. Zhang, “Development of an Embedded Smart Home System Based on Arduino and Android,” *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6739, 2023.
- [18] Al-Jarwany, Q.A. System Design and Implementation for Machine Learning and Internet of Things Based Anomaly Detection in Patient Movement. Tunis: Journal of Electrical Systems, Vol. 20, No. 5s, hlm. 2216–2232, 2024.
- [19] Raghavendra, S., Ganguli, S., Selvan, P. T., Nayak, M. M., Chaudhury, S., Espina, R. U., & Ofori, I. (2022). Deep learning based dual channel banana grading system using convolution neural network. *Journal of Food Quality*, 2022.
- [20] Hapsari, L, D.A. Lestari dan A. Masrum. 2015. Albu Koleksi Pisang Kebun Raya Purwodadi Seri 1: 2010-2015. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

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

LAMPIRAN A

KODE PROGRAM

```

/* Includes ----- */
#include <Deteksi_Pisang1_inferencing.h>
#include "edge-impulse-sdk/dsp/image/image.hpp"
#include "esp_camera.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// #define CAMERA_MODEL_ESP_EYE // Has PSRAM
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER // Has PSRAM

#if defined(CAMERA_MODEL_ESP_EYE)
#define PWDN_GPIO_NUM    -1
#define RESET_GPIO_NUM  -1
#define XCLK_GPIO_NUM    4
#define SIOD_GPIO_NUM    18
#define SIOC_GPIO_NUM    23

#define Y9_GPIO_NUM      36
#define Y8_GPIO_NUM      37
#define Y7_GPIO_NUM      38
#define Y6_GPIO_NUM      39
#define Y5_GPIO_NUM      35
#define Y4_GPIO_NUM      14
#define Y3_GPIO_NUM      13
#define Y2_GPIO_NUM      34
#define VSYNC_GPIO_NUM    5
#define HREF_GPIO_NUM     27
#define PCLK_GPIO_NUM     25

#elif defined(CAMERA_MODEL_AI_THINKER)
#define PWDN_GPIO_NUM     32
#define RESET_GPIO_NUM    -1
#define XCLK_GPIO_NUM      0
#define SIOD_GPIO_NUM     26
#define SIOC_GPIO_NUM     27

#define Y9_GPIO_NUM       35

```

```
#define Y8_GPIO_NUM      34
#define Y7_GPIO_NUM      39
#define Y6_GPIO_NUM      36
#define Y5_GPIO_NUM      21
#define Y4_GPIO_NUM      19
#define Y3_GPIO_NUM      18
#define Y2_GPIO_NUM       5
#define VSYNC_GPIO_NUM   25
#define HREF_GPIO_NUM    23
#define PCLK_GPIO_NUM    22

#else
#error "Camera model not selected"
#endif

/* Constant defines ----- */
#define EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_COLS      320
#define EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_ROWS      240
#define EI_CAMERA_FRAME_BYTE_SIZE            3
// Gunakan ukuran display 128x64
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64

// Gunakan I2C manual: SDA di GPIO14, SCL di GPIO15
#define OLED_SDA 14
#define OLED_SCL 15

// Buat objek display
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);
/* Private variables ----- */
static bool debug_nn = false; // Set this to true to see e.g. features generated
from the raw signal
static bool is_initialised = false;
uint8_t *snapshot_buf; //points to the output of the capture

static camera_config_t camera_config = {
    .pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM,
    .pin_reset = RESET_GPIO_NUM,
    .pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM,
    .pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM,
    .pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM,

    .pin_d7 = Y9_GPIO_NUM,
```

1. Dilarang menyalin atau menyebarkan karya tulis ini tanpa izin RAU.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

```
.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM,
.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM,
.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM,
.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM,
.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM,
.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM,
.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM,
.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM,
.pin_href = HREF_GPIO_NUM,
.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM,

//XCLK 20MHz or 10MHz for OV2640 double FPS (Experimental)
.xclk_freq_hz = 20000000,
.ledc_timer = LEDC_TIMER_0,
.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0,

.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG, //YUV422,GRAYSCALE,RGB565,JPEG
.frame_size = FRAMESIZE_QVGA, //QQVGA-UXGA Do not use sizes above QVGA
when not JPEG

.jpeg_quality = 12, //0-63 lower number means higher quality
.fb_count = 1, //if more than one, i2s runs in continuous mode. Use
only with JPEG
.fb_location = CAMERA_FB_IN_PSRAM,
.grab_mode = CAMERA_GRAB_WHEN_EMPTY,
};

/* Function definitions -----
*/
bool ei_camera_init(void);
void ei_camera_deinit(void);
bool ei_camera_capture(uint32_t img_width, uint32_t img_height, uint8_t *out_buf)
;

/**
 * @brief Arduino setup function
 */
void setup()
{
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(115200);
    //comment out the below line to start inference immediately after upload
    while (!Serial);
```



```

Serial.println("Edge Impulse Inferencing Demo");
if (ei_camera_init() == false) {
    ei_printf("Failed to initialize Camera!\r\n");
}
else {
    ei_printf("Camera initialized\r\n");
}

ei_printf("\nStarting continious inference in 2 seconds...\n");
ei_sleep(2000);

// Inisialisasi komunikasi I2C manual
Wire.begin(OLED_SDA, OLED_SCL);

// Coba mulai OLED
if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    Serial.println("Gagal menemukan OLED");
    while (true);
}

// Bersihkan tampilan
display.clearDisplay();
ei_sleep(2000);

/**
 * @brief      Get data and run inferencing
 * @param[in]  debug  Get debug info if true
 */
void loop()
{
    // instead of wait_ms, we'll wait on the signal, this allows threads to
    cancel us...
    if (ei_sleep(5) != EI_IMPULSE_OK) {
        return;
    }

    snapshot_buf = (uint8_t*)malloc(EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_COLS *
EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_ROWS * EI_CAMERA_FRAME_BYTE_SIZE);

    // check if allocation was successful

```



1. Dilarang menyalin atau menyebarkan karya tulis ini tanpa izin atau persetujuan dari penerbit atau penulis.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

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

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

```

if(snapshot_buf == nullptr) {
    ei_printf("ERR: Failed to allocate snapshot buffer!\n");
    return;
}

ei::signal_t signal;
signal.total_length = EI_CLASSIFIER_INPUT_WIDTH * EI_CLASSIFIER_INPUT_HEIGHT;
signal.get_data = &ei_camera_get_data;

if (ei_camera_capture((size_t)EI_CLASSIFIER_INPUT_WIDTH,
(size_t)EI_CLASSIFIER_INPUT_HEIGHT, snapshot_buf) == false) {
    ei_printf("Failed to capture image\r\n");
    free(snapshot_buf);
    return;
}

// Run the classifier
ei_impulse_result_t result = { 0 };

EI_IMPULSE_ERROR err = run_classifier(&signal, &result, debug_nn);
if (err != EI_IMPULSE_OK) {
    ei_printf("ERR: Failed to run classifier (%d)\n", err);
    return;
}

// print the predictions
ei_printf("Predictions (DSP: %d ms., Classification: %d ms., Anomaly: %d
ms.): \n",
        result.timing.dsp, result.timing.classification,
result.timing.anomaly);

#if EI_CLASSIFIER_OBJECT_DETECTION == 1
ei_printf("Object detection bounding boxes:\r\n");
for (uint32_t i = 0; i < result.bounding_boxes_count; i++) {
    ei_impulse_result_bounding_box_t bb = result.bounding_boxes[i];
    if (bb.value == 0) {
        continue;
    }
    ei_printf("  %s (%f) [ x: %u, y: %u, width: %u, height: %u ]\r\n",
        bb.label,
        bb.value,
        bb.x,
        bb.y,

```

1. Dilarang menyalin atau menjiplak isi karya tulis ini tanpa izin atau persetujuan penulis.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

```

        bb.width,
        bb.height);
    }

    // Print the prediction results (classification)
#else
    ei_printf("Predictions:\r\n");
    for (uint16_t i = 0; i < EI_CLASSIFIER_LABEL_COUNT; i++) {
        ei_printf("  %s: ", ei_classifier_inferencing_categories[i]);
        ei_printf("%.5f\r\n", result.classification[i].value);
    }
#endif

    // Print anomaly result (if it exists)
#if EI_CLASSIFIER_HAS_ANOMALY
    ei_printf("Anomaly prediction: %.3f\r\n", result.anomaly);
#endif

#if EI_CLASSIFIER_HAS_VISUAL_ANOMALY
    ei_printf("Visual anomalies:\r\n");
    for (uint32_t i = 0; i < result.visual_ad_count; i++) {
        ei_impulse_result_bounding_box_t bb = result.visual_ad_grid_cells[i];
        if (bb.value == 0) {
            continue;
        }
        ei_printf("  %s (%f) [ x: %u, y: %u, width: %u, height: %u ]\r\n",
            bb.label,
            bb.value,
            bb.x,
            bb.y,
            bb.width,
            bb.height);
    }
#endif

#if EI_CLASSIFIER_OBJECT_DETECTION == 1
    // Ambil bounding box dengan confidence tertinggi
    float max_bb_value = 0.0f;
    const char* max_bb_label = "";

    for (uint32_t i = 0; i < result.bounding_boxes_count; i++) {
        ei_impulse_result_bounding_box_t bb = result.bounding_boxes[i];
        if (bb.value > max_bb_value) {
            max_bb_value = bb.value;

```


- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

```

        max_bb_label = bb.label;
    }
}

// Tampilkan ke OLED jika ada deteksi
if (max_bb_value > 0.0f) {
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print("Deteksi:");
    display.setCursor(0, 20);
    display.print(max_bb_label);
    display.setCursor(0, 40);
    display.print("Confidence:");
    display.setCursor(0, 50);
    display.print(max_bb_value * 100, 2);
    display.print(" %");
    display.display();
}
#endif

free(snapshot_buf);
}
/**
 * @brief Setup image sensor & start streaming
 *
 * @retval false if initialisation failed
 */
bool ei_camera_init(void) {

    if (is_initialised) return true;

#ifdef CAMERA_MODEL_ESP_EYE
    pinMode(13, INPUT_PULLUP);
    pinMode(14, INPUT_PULLUP);
#endif

    //initialize the camera

```

```
esp_err_t err = esp_camera_init(&camera_config);
if (err != ESP_OK) {
    Serial.printf("Camera init failed with error 0x%x\n", err);
    return false;
}

sensor_t * s = esp_camera_sensor_get();
// initial sensors are flipped vertically and colors are a bit saturated
if (s->id.PID == OV3660_PID) {
    s->set_vflip(s, 1); // flip it back
    s->set_brightness(s, 1); // up the brightness just a bit
    s->set_saturation(s, 0); // lower the saturation
}

#ifdef CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
    s->set_vflip(s, 1);
    s->set_hmirror(s, 1);
#elif defined(CAMERA_MODEL_ESP_EYE)
    s->set_vflip(s, 1);
    s->set_hmirror(s, 1);
    s->set_awb_gain(s, 1);
#endif

is_initialised = true;
return true;
}

/**
 * @brief      Stop streaming of sensor data
 */
void ei_camera_deinit(void) {

    //deinitialize the camera
    esp_err_t err = esp_camera_deinit();

    if (err != ESP_OK)
    {
        ei_printf("Camera deinit failed\n");
        return;
    }

    is_initialised = false;
    return;
}
```



```

/**
 * @brief      Capture, rescale and crop image
 *
 * @param[in]  img_width      width of output image
 * @param[in]  img_height     height of output image
 * @param[in]  out_buf        pointer to store output image, NULL may be used
 *                             if ei_camera_frame_buffer is to be used for capture
 *                             and resize/cropping.
 *
 * @retval     false if not initialised, image captured, rescaled or cropped
 *             failed
 */
bool ei_camera_capture(uint32_t img_width, uint32_t img_height, uint8_t *out_buf)
{
    bool do_resize = false;

    if (!is_initialised) {
        ei_printf("ERR: Camera is not initialized\r\n");
        return false;
    }

    camera_fb_t *fb = esp_camera_fb_get();

    if (!fb) {
        ei_printf("Camera capture failed\n");
        return false;
    }

    bool converted = fmt2rgb888(fb->buf, fb->len, PIXFORMAT_JPEG, snapshot_buf);

    esp_camera_fb_return(fb);

    if(!converted){
        ei_printf("Conversion failed\n");
        return false;
    }

    if ((img_width != EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_COLS)
        || (img_height != EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_ROWS)) {

```



```

do_resize = true;
}

if (do_resize) {
    ei::image::processing::crop_and_interpolate_rgb888(
        out_buf,
        EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_COLS,
        EI_CAMERA_RAW_FRAME_BUFFER_ROWS,
        out_buf,
        img_width,
        img_height);
}

return true;
}

static int ei_camera_get_data(size_t offset, size_t length, float *out_ptr)
{
    // we already have a RGB888 buffer, so recalculate offset into pixel index
    size_t pixel_ix = offset * 3;
    size_t pixels_left = length;
    size_t out_ptr_ix = 0;

    while (pixels_left != 0) {
        // Swap BGR to RGB here
        // due to https://github.com/espressif/esp32-camera/issues/379
        out_ptr[out_ptr_ix] = (snapshot_buf[pixel_ix + 2] << 16) +
            (snapshot_buf[pixel_ix + 1] << 8) + snapshot_buf[pixel_ix];

        // go to the next pixel
        out_ptr_ix++;
        pixel_ix+=3;
        pixels_left--;
    }
    // and done!
    return 0;
}

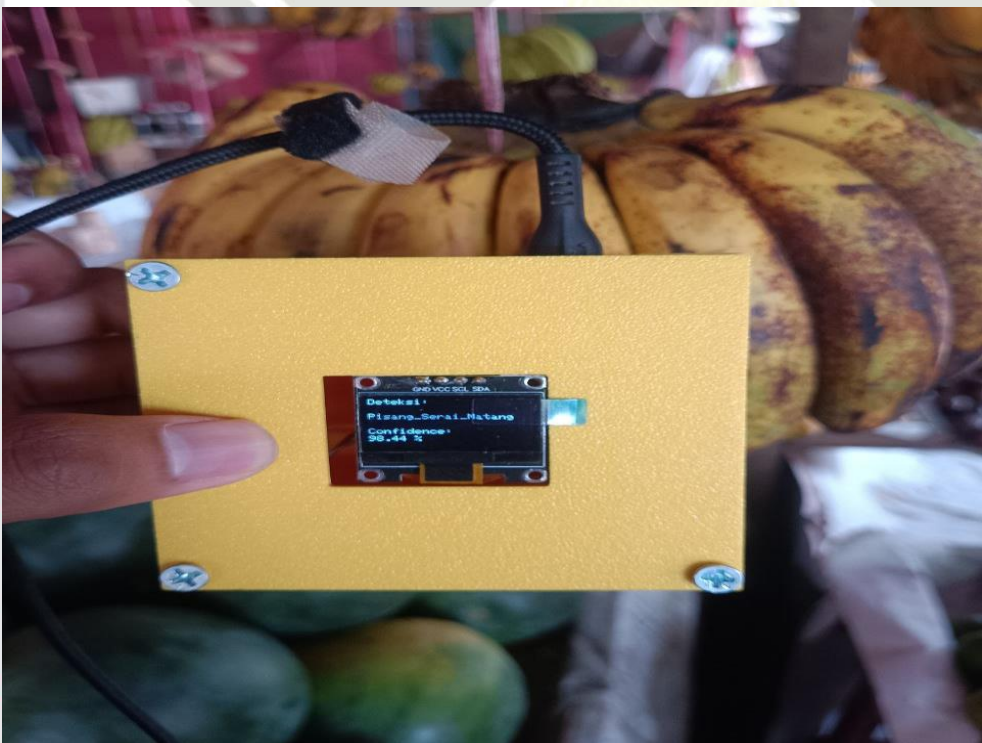
#ifdef EI_CLASSIFIER_SENSOR || EI_CLASSIFIER_SENSOR !=
EI_CLASSIFIER_SENSOR_CAMERA
#error "Invalid model for current sensor"
#endif

```

LAMPIRAN B

PENGUJIAN ALAT

Pengujian di Toko Buah

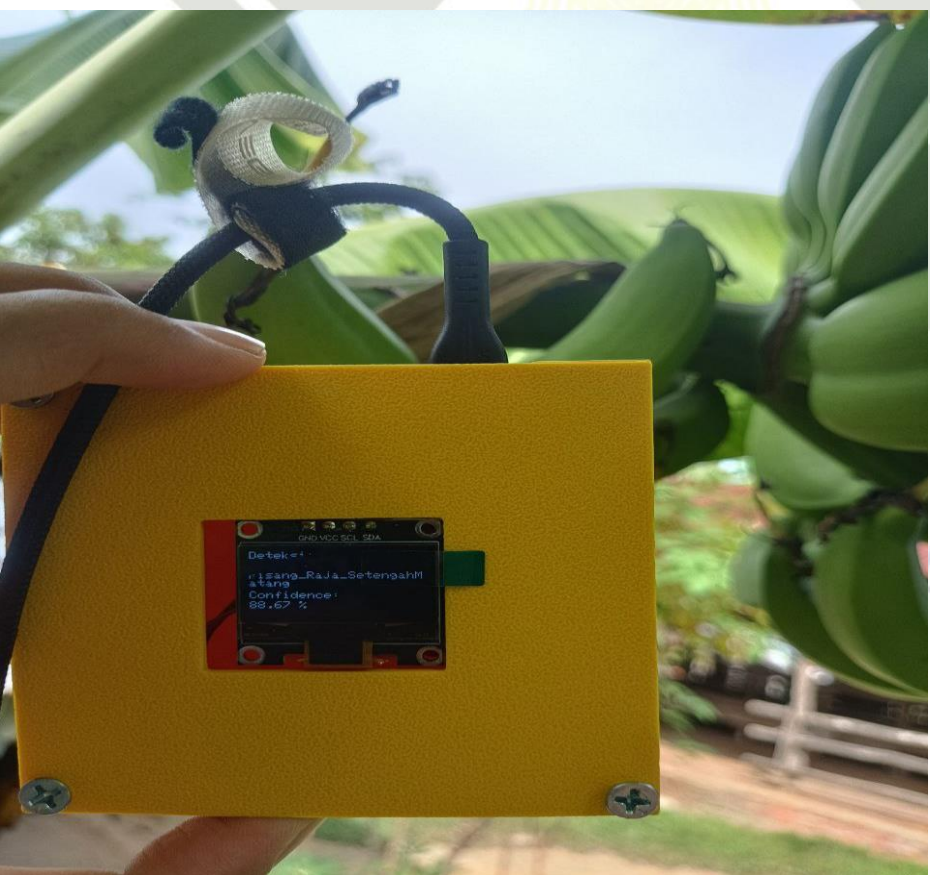


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

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

Hak Cipta Melindungi Undang-Undang

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





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Peneliti bernama lengkap Adasra Pratama atau biasa dipanggil dengan nama Aad. Lahir di Pekanbaru, 12 April 1999 dari pasangan Asrul (Ayah) dan Ramadhani (Ibu) sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Peneliti menempuh pendidikan di SD Negeri 008 Kota Pekanbaru pada tahun 2005-2011, SMP Negeri 006 Kota Pekanbaru pada tahun 2011-2014, SMK Negeri 05 Kota Pekanbaru dengan mengambil jurusan Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) pada tahun 2014-2017. Peneliti melanjutkan Pendidikan ke Perguruan Tinggi Negeri di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi.

Pada bulan Januari 2020 peneliti melaksanakan magang di Mal Pelayanan Publik Kota Pekanbaru dengan judul penelitian “Sistem Monitoring Jaringan Menggunakan The Dude Pada Gedung Mal Pelayanan Publik Kota Pekanbaru”. Yang dibimbing oleh bapak Dr. Harris Simaremare, S.T., M.T. dan diseminarkan pada tanggal 07 Juli 2021. Pada bulan Juli hingga Agustus 2021 penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata Dari Rumah (KKN-DR) Plus di Kota Pekanbaru.

Segala kritik, saran dan pertanyaan untuk penulis dapat disampaikan melalui alamat email berikut : adasrapratama@gmail.com dan dapat melalui nomor telephone 081268360923. Terima kasih.