

**APLIKASI MODUL ESP32-CAM DALAM RANCANG BANGUN
SISTEM PEMANTAUAN KEMATANGAN BUAH TOMAT
BERBASIS EDGE IMPULS YOLO MODEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Bidang Fisika Fakultas MIPA

Oleh:

SADAM HUSIN

NIM. 08021282126037



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

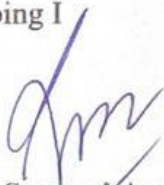
APLIKASI MODUL ESP32-CAM DALAM RANCANG BANGUN SISTEM
PEMANTAUAN KEMATANGAN BUAH TOMAT BERBASIS EDGE IMPULS
YOLO MODEL

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Bidang Fisika Fakultas MIPA*

Oleh:
SADAM HUSIN
NIM. 08021282126037

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

Indralaya, 30 April 2025
Pembimbing II



Drs. Octavianus CS., M.T.
NIP. 196510011991021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frimsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

**Application of ESP32-CAM Module in the Development of a Tomato Ripeness
Monitoring System Based on Edge Impulse YOLO Model**

By:

Sadam Husin

NIM:08021282126037

ABSTRACT

This study aims to design and implement an automated system to detect the ripeness level of tomatoes using the ESP32-CAM module and the YOLO algorithm trained through the Edge Impulse platform. The system relies on color parameters extracted from tomato images to classify ripeness into three categories: unripe, semi-ripe, and ripe. Tests were conducted at various distances (10 cm, 20 cm, and 40 cm) and under different lighting conditions (morning and afternoon). The results show that the system can accurately detect ripe tomatoes in all conditions. The highest accuracy was generally obtained at a 20 cm distance, especially for unripe and semi-ripe tomatoes. As a reference, manual classification using the USDA's *Tomato Color Chart* (TCC) was employed. The automatic detection results show a high degree of conformity with manual classification, demonstrating that this system can be used as an alternative for real-time monitoring of tomato ripeness in modern agriculture.

Keywords: ESP32-CAM, YOLO, Edge Impulse, tomato ripeness, tomato color chart, automated detection.

Indralaya, 30 April 2025
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

Pembimbing II



Drs. Octavianus CS., M.T.
NIP. 196510011991021001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

**Aplikasi Modul ESP32-Cam Dalam Rancang Bangun Sistem Pemantauan
Kematangan Buah Tomat Berbasis Edge Impuls Yolo Model
Oleh:**

**Sadam Husin
NIM:08021282126037**

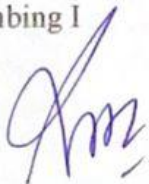
ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem otomatis untuk mendeteksi tingkat kematangan buah tomat menggunakan modul ESP32-CAM dan algoritma YOLO yang dilatih melalui platform Edge Impulse. Sistem ini mengandalkan parameter warna yang ditangkap dari citra buah tomat untuk mengklasifikasikan kematangan ke dalam tiga kategori: mentah, setengah matang, dan matang. Pengujian dilakukan pada berbagai jarak (10 cm, 20 cm, dan 40 cm) serta kondisi pencahayaan berbeda (pagi dan siang hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali tomat matang dengan akurasi tinggi di semua kondisi. Akurasi terbaik secara umum diperoleh pada jarak 20 cm, terutama untuk tomat mentah dan setengah matang. Sebagai pembanding, metode manual menggunakan *Tomato Color Chart* (TCC) dari USDA digunakan untuk klasifikasi referensi. Hasil deteksi otomatis menunjukkan kesesuaian cukup tinggi terhadap klasifikasi manual, yang membuktikan bahwa sistem ini dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengawasan kematangan buah tomat secara real-time di bidang pertanian modern.

Kata kunci: ESP32-CAM, YOLO, Edge Impulse, kematangan tomat, tomato color chart, deteksi otomatis.

Indralaya, 30 April 2025
Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

Pembimbing II



Drs. Octavianus CS., M.T.
NIP. 196510011991021001

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya:

Nama : Sadam Husin

NIM : 08021282126037

Judul TA : Aplikasi Modul ESP32-Cam Dalam Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kematangan Buah Tomat Berbasis Edge Impuls Yolo Model

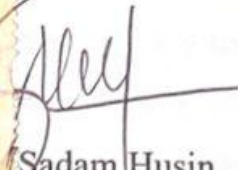
Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun merupakan hasil karya sendiri yang didampingi oleh dosen pembimbing dalam proses penyelesaiannya serta mengikuti etika penulisan karya ilmiah tanpa adanya Tindakan Plagiat, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Program studi Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan Sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila ditemukan adanya unsur plagiat dalam skripsi ini, Maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 30 April 2025

Yang Menyatakan




Sadam Husin

NIM.08021282126037

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya proposal Penelitian penulis yang berjudul **“Aplikasi Modul Esp32-Cam Dalam Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kematangan Buah Tomat Berbasis Edge Impuls Yolo Model”** telah rampung diselesaikan. Penelitian ini nantinya akan dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Instrumentasi Komputasi dan Nuklir, Jurusan Fisika Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Sriwijaya. Untuk memenuhi persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya, penulis mengajukan proposal tugas akhir ini guna memenuhi hal diatas.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam skripsi tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun serta penulis berharap proposal ini dapat bermanfaat sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pembuatan proposal ini dan penelitian ini. Penulis berharap proposal ini dapat diterima dan dapat bermanfaat bagi masyarakat.

Perjalanan dalam menyusun skripsi ini tentu bukanlah hal yang mudah. Dibutuhkan ketekunan, semangat pantang menyerah, serta dukungan dari banyak pihak yang telah berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati dan rasa terima kasih yang tulus, penulis ingin menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung. Penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang tulus kepada:

1. Penulis menyampaikan rasa Syukur yang mendalam kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan dalam setiap proses penulisan skripsi ini.

2. Penulis menyampaikan terima kasih kepada kedua orangtua tercinta, Bapak Muzakir Ismail dan Ibu Lilis Suryani atas doa, cinta, motivasi, dan segala pengorbanan yang tiada henti selama ini.
3. Penulis juga menyampaikan terima kasih sekaligus apresiasi kepada kuyung kopek dan seluruh saudara kandung penulis, Azmawati, Iis Mirawati, Chandra Irawan, Fitri Maryati, Budiman dan Husnul Khotima atas dukungan moral dan semangat yang selalu mengiringi langkah penulis.
4. Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si. dan Bapak Drs. Octavianus CS., M.T., selaku dosen pembimbing, atas waktu, ilmu, dan bimbingan yang sangat berarti dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Hermansyah. S,Si., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas dalam menyelesaikan studi.
6. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., atas dukungan dan arahannya selama ini.
7. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si selaku ketua komisi saat siding dan Bapak Dr. Fiber monado, S.Si., M.Si serta Ibu Erni S.Si., M.Si selaku dosen penguji 1 dan penguji 2 dan seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, atas ilmu dan pengalaman yang diberikan selama masa perkuliahan.
8. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Para admin dan staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi dan teknis selama masa studi.
9. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan Dede Ridwan Ismail, M. Rendy Apriansyah, Rifqi Islami, Eka Triana, Weanda, Arini Alfahidayah, dan Irma Suryani yang telah memberikan semangat, bantuan, serta kenangan indah selama menempuh pendidikan.

10. Penulis juga mengucapkan rasa banyak terima kasih kepada Kak Alvin, yang telah memberikan begitu banyak bantuan, dorongan semangat, serta menjadi teman diskusi dan penyemangat yang tulus selama proses penyusunan skripsi ini.
11. Penulis Mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung.
12. Dan yang tak kalah penting, kepada diri sendiri Sadam Husin atas ketekunan, kesabaran, dan komitmen dalam menyelesaikan seluruh proses ini.

Indralaya, 30 April 2025

Yang Menyatakan



Sadam Husin

NIM.08021282126037

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRACT.....	ii
ABSTRAK.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Rumusan Masalah.....	17
1.3 Batasan Masalah	17
1.4 Tujuan Penelitian	18
1.5 Manfaat Penelitian	18
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tanaman Tomat (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Intensitas Warna RGB dalam Deteksi Tingkat Kematangan Buah Tomat	Error! Bookmark not defined.
2.3 Fotodioda dalam Mengubah Foton Menjadi Arus Listrik	Error! Bookmark not defined.
2.4 Pendeteksian Kematangan buah Tomat	Error! Bookmark not defined.
2.5 Teknologi Pengolahan Citra	Error! Bookmark not defined.
2.6 ESP32-Cam.....	Error! Bookmark not defined.
2.7 Sensor Kamera CMOS	Error! Bookmark not defined.
2.8 Internet of Things (IoT).....	Error! Bookmark not defined.
2.9 Model YOLO (<i>You Only Look Once</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.10 Edge Computing.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Waktu dan Lokasi penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.

3.3	Desain Rangkaian Elektronik Perangkat Keras dan Software ...	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Perancangan Perangkat Keras.....	Error! Bookmark not defined.
3.3.2	Perancangan <i>Software Pada Arduino IDE</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.3	Perancangan basis data pada <i>platform edge impulse</i>	Error! Bookmark not defined.
3.4	Perancangan Bagan Alir	Error! Bookmark not defined.
3.5	Pengujian ESP32-Cam	Error! Bookmark not defined.
3.5.1	Metode Manual (Pengamatan Visual Berdasarkan Tomato Chart).....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2	Intensitas Cahaya Lux Pada Pengujian Sensor kematangan buah Tomat	Error! Bookmark not defined.
3.6	Evaluasi Tingkat Presisi dan Akurasi	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1	Implementasi dan Evaluasi Sistem Pemantauan Tingkat Kematangan Buah Tomat	Error! Bookmark not defined.
4.2	Hasil Perancangan Hardware dan Software Sistem Deteksi Kematangan Tomat Berdasarkan ESP32-Cam	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	Hasil Perancangan Hardware	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Hasil Perancangan Software	Error! Bookmark not defined.
4.3	Pengujian ESP32-Cam	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	Hasil Metode Manual (Pengamatan Visual Berdasarkan <i>Tomato Chart</i>)...	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	Hasil Evaluasi Akurasi dan Presisi Sistem	Error! Bookmark not defined.
4.4	Hasil Perancangan Basis Data Tingkat Akurasi ESP32-Cam Dalam Mendeteksi Objek.....	Error! Bookmark not defined.
4.5	Analisis Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Deteksi Kematangan Tomat	Error! Bookmark not defined.
4.5.1	Hasil Penentuan akurasi sensor berdasarkan kondisi lingkungan.....	Error! Bookmark not defined.
4.6	Analisis Kegagalan Sensor dalam Mendeteksi Kematangan Buah Tomat.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		Error! Bookmark not defined.
5.1	Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKA.....	19
DAFTAR SINGKATAN.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR REFERENSI GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2. 1** Tanaman Tomat (source: Kompas) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2** nilai intensitas Cahaya tampak **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3** Fotodioda dalam barang Elektronik (source: dinginaja.com).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 4** buah tomat dengan 6 stage tingkat kematangan ..**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 5** Pengelolaan Citra digital berupa pendeteksian objek (source: www.slideshare.net)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 6** Modul ESP32-Cam (source: www.tinytronics.nl)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 7** Sensor CMOS (source: Tecnoblog)..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 8** Internet of Things (source: www.djaxtech.com) .**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 9** Model YOLO (You Only Look Once) (source: becominghuman.ai) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 10** website Edge Impulse **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1** Perancangan perangkat keras untuk menghubungkan alat dan bahan..**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 2** Tampilan aplikasi Arduino Ide **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3** Tampilan website Edge Impulse..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4** Flowchart Perancangan Software pada Edge Impulse**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 5** Bagan Alir Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 6** Tomato Color Chart..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1** Hasil perancangan perangkat keras**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2** Hasil pelabelan untuk tomat mentah..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 3 Hasil pelabelan untuk tomat setengah matang..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 4 Hasil pelabelan untuk tomat matang..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Hasil processed features untuk tomat mentah **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Hasil processed features untuk tomat setengah matang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Hasil processed features untuk tomat matang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 8 Hasil last training performance confusion matrix dan metrics..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 9 Rangkaian alat untuk pengujian ESP32-Cam..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 10 Pengukuran Intensitas Lux pada pagi hari dengan kondisi cuaca cerah **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 11 Pengukuran Intensitas Lux pada siang hari dengan kondisi cuaca cerah **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran dalam ruangan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 13 Kegagalan Klasifikasi Objek ketika Pencahayaan Rendah **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 14 Kesalahan Klasifikasi pada Tomat matang, yang diklasifikasikan sebagai tomat setengah matang **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 15 Klasifikasi tomat yang hanya mendeteksi objek terdekat dengan kamera dari beberapa tomat dalam satu frame..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Alat dan Bahan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 2	Koneksi pin ESP32-Cam dengan FTDI	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 3	Koneksi pin ESP32-Cam dengan Oled 0.96	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3. 4	Rentang Intensitas Cahaya (Lux) Berdasarkan Waktu dan Kondisi Uji	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1	Pengujian ESP32-Cam untuk berbagai kondisi pencahayaan.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 2	Kategori kematangan tomat menggunakan pengamatan visual	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3	Hasil Pengujian Presisi Tiap Kategori Tomat	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4	Nilai Recall Sistem.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5	Nilai Total Akurasi Sistem dari 5 kali perulangan...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6	Perbandingan Metode manual dan Metode sensor...	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 7	Pengujian data sampel dengan jarak 10 cm, 20 cm dan 40 cm	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 8	Hasil Pengukuran Intensitas cahaya menggunakan sensor Intelligent Soil Sensor	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 9	Pengujian data sampel tomat mentah dengan jarak 10 cm, 20 cm dan 40 cm pada pagi dan siang hari	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia telah memasuki fase Revolusi Industri 4.0 yang ditandai dengan meluasnya teknologi informasi dan komunikasi. Selain itu, kemajuan pesat internet dan teknologi telah terbukti menjadi elemen mendasar dalam perpaduan dan integrasi manusia dan mesin. Di era globalisasi yang terus meningkat saat ini terdapat banyak sekali teknologi yang sudah berkembang yang tentunya dibuat untuk mempermudah dan mempercepat pekerjaan manusia. Namun ada beberapa teknologi buatan manusia yang justru dapat memberikan dampak negatif, seperti contohnya ketergantungan dan kecanduan yang membuat manusia menjadi pemalas. Terlepas dari itu semua, perkembangan teknologi sebenarnya diciptakan untuk membantu manusia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi tentunya dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia, terutama dalam bidang pertanian, dengan adanya teknologi yang lebih maju dapat mendorong nilai atau hasil pertanian menjadi lebih baik. Pemanfaatan teknologi dalam pertanian dapat dimanfaatkan untuk memantau kesehatan tanaman, kelembaban tanah, dan kebutuhan nutrisi secara *real-time*, dan memantau kematangan buah yang memungkinkan petani untuk mengambil tindakan tepat waktu dan menjaga nutrisi pada tanaman (Cahyaningtyas, et al., 2023).

Dunia pertanian modern semakin banyak menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam berbagai aspek seperti pemantauan tanaman dan hasil panen. *Internet of Things* (IoT) adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat konektivitas internet yang berkelanjutan. IoT memungkinkan perangkat pintar seperti sensor, kamera, dan modul pemrosesan untuk terhubung satu sama lain dan bertukar data secara *real-time*, menciptakan ekosistem yang mendukung pengambilan keputusan berdasarkan data. Aplikasi IoT yang menarik adalah sistem pemantauan kematangan buah-buahan seperti tomat, yang berperan penting dalam memastikan kualitas hasil panen (Efendi, 2018).

Saat ini telah banyak penelitian sebelumnya yang membuat purnarupa alat untuk mendeteksi kematangan buah, seperti penelitian yang dilakukan oleh Aldhi cahyo & Rahmat Rasyid (2024), yang membuat alat pendeteksi kematangan untuk buah kelapa sawit dengan menggunakan sensor TCS3200 dan modul wifi ESP32-Cam dengan notifikasi via telegram, akan tetapi ada beberapa kekurangan dari penelitian tersebut seperti pengaruh dari cahaya matahari pada saat mendeteksi warna RGB, sehingga sensor warna TCS3200 tidak maksimal dalam mendeteksi warna RGB dari buah sawit dan mengeluarkan notifikasi yang salah pada aplikasi telegram dan hasil pengujian alat menggunakan sensor TCS3200 dan modul Wi Fi ESP32-Cam terhadap kematangan buah kelapa sawit menghasilkan persentase keberhasilan yang berbeda-beda disetiap keadaan. Pada kondisi buah kelapa sawit matang terdapat salah pembacaan sebanyak dua kali, sehingga pembacaan pada sensor warna TCS3200 menjadi tidak maksimal. Penelitian lainnya seperti penelitian yang dilakukan oleh (Nurhikma, et al.,2023). Dalam mengklasifikasi tingkat kematangan buah tomat menggunakan *Computer Vision* untuk *Smart Agriculture*, Dimana penelitian ini sudah mengambil konsep yang lebih modern tetapi tidak dilakukan deteksi kematangan secara *real-time* pada alat tersebut.

Atas dasar tersebut, penelitian ini diharapkan dapat mengatasi masalah masalah tersebut sehingga dapat dikembangkan untuk penelitian berikutnya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan algoritma *machine* seperti penggunaan teknologi berbasis *computer vision* dengan algoritma cukup canggih model *You Only Look Once* (YOLO) yang dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara *real-time*. Penerapan teknologi ini pada sistem pemantauan buah tomat memungkinkan penentuan kematangan buah secara cepat dan akurat berdasarkan gambar buah. YOLO merupakan bagian dari algoritma *deep learning* CNN yang melakukan deteksi objek dengan menerapkan fungsi deteksi berupa kotak pembatas dan klasifikasi gambar atau video. Cara kerjanya adalah mempartisi gambar masukan dalam bentuk matriks SxS (Drantantiyas, et al., 2023).

Penggunaan teknologi dalam bidang pertanian modern justru dapat meningkatkan kinerja petani. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dikembangkan alat yang dapat memantau tingkat kematangan pada buah tomat dengan tujuan nantinya dapat digunakan dalam pertanian modern untuk menentukan kematangan tomat secara *real-time* karena didesain dengan menggunakan mikrokontroler modul ESP32-Cam yang dapat memantau kematangan tomat melalui sensor kamera. Penggunaan ESP32-Cam dalam menganalisis tingkat kematangan buah tomat didasarkan pada data warna dan bentuk yang membedakan antara tomat mentah dan tomat yang sudah siap untuk dipanen. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan pengenalan warna, seperti pendeteksian kematangan buah, robotika, dan otomatisasi industri.

Pemilihan buah tomat (*Solanum lycopersicum*) dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa alasan penting, antara lain tomat merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi, tingkat konsumsi yang luas, dan termasuk salah satu buah yang mengalami perubahan visual paling jelas saat proses pematangan, terutama dari sisi warna kulit buah yang berubah dari hijau menjadi merah cerah. Perubahan ini sangat mendukung pendekatan *computer vision* dan pengolahan citra digital. Selain itu, tomat juga termasuk dalam kategori buah yang mudah rusak sehingga penanganan pascapanen yang tepat sangat dibutuhkan untuk menjaga kualitasnya (Dorais, et al., 2008). Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2022), produksi tomat di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, yang menunjukkan pentingnya inovasi teknologi dalam mendukung efisiensi panen dan distribusi hasil tani. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penggunaan teknologi dalam klasifikasi kematangan tomat mampu meningkatkan akurasi panen tepat waktu dan mengurangi kerugian pascapanen (Nurhikma, et al., 2023).

ESP32-Cam digunakan sebagai perangkat utama untuk mengambil gambar buah tomat. ESP32-Cam dipilih karena dapat menangkap gambar, mengolah data, dan mengirimkan informasi secara *real-time* melalui koneksi Wi-Fi. Gambar yang diperoleh dianalisis untuk mengekstrak informasi warna dan ukuran yang merupakan parameter utama untuk menentukan kematangan. Penelitian ini diharapkan nantinya

dapat mempercepat proses seleksi dan pemisahan tomat berdasarkan tingkat kematangan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas dalam operasi pasca panen (Dewi, et al., 2021).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan kematangan buah tomat dengan menggunakan modul ESP32-Cam dan *edge impulse*?
2. Bagaimana mengetahui efektivitas model YOLO dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat kematangan buah tomat berdasarkan citra visual yang diambil oleh ESP32-Cam?
3. Bagaimana keakuratan sistem yang dirancang dengan modul ESP32-Cam dalam menentukan tingkat kematangan buah tomat dibandingkan dengan metode konvensional?
4. Bagaimana mengetahui tingkat akurasi yang diperoleh oleh sistem pendeteksian kematangan tomat dengan modul ESP32-Cam?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian hanya menggunakan perangkat ESP32-Cam, yang terdiri dari modul kamera OV2640 untuk pengambilan gambar.
2. Pada penelitian ini, hanya menggunakan tomat sebagai target deteksi kematangan.
3. Modul ESP32 Cam yang digunakan memiliki daya dan kapasitas komputasi yang terbatas.
4. Sistem ini dirancang untuk beroperasi hanya pada kondisi pencahayaan tertentu yang mendukung pengenalan gambar yang akurat.
5. Penelitian ini tidak mencakup analisis komprehensif terhadap faktor tak berwujud seperti tekstur dan rasa dalam menentukan kematangan tomat.

6. Hanya batas mendeteksi kematangan buah tomat berdasarkan parameter warna tidak dengan kualitasnya.
7. Hanya menggunakan model YOLO jenis FOMO yang merupakan turunan dari yolo V5 dengan ukuran model yang lebih ringan serta dapat diintegrasikan pada ESP32-Cam.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membangun sistem pemantauan kematangan tomat menggunakan modul ESP32-Cam.
2. Mengimplementasikan model YOLO berbasis Edge Impulse untuk mendeteksi tingkat kematangan tomat secara *real-time*.
3. Mengevaluasi keakuratan sistem penentuan kematangan tomat dan membandingkannya dengan hasil metode konvensional.
4. Menguji akurasi dan efisiensi model YOLO untuk klasifikasi kematangan buah tomat melalui pengolahan citra yang dilakukan langsung di perangkat (*edge computing*).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sistem ini membantu pertanian memantau kematangan tomat secara otomatis sehingga membuat keputusan panen menjadi lebih mudah.
2. Mendukung penerapan teknologi berbasis IoT dan kecerdasan buatan dalam otomasi pertanian untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi.
3. Menyediakan kontribusi pada literatur tentang penerapan model YOLO berbasis *edge computing* untuk deteksi objek spesifik dalam aplikasi pertanian.
4. Membuka kemungkinan untuk mengembangkan sistem yang lebih kompleks dengan fungsionalitas tambahan, seperti mengintegrasikan sensor lain atau menggunakan teknik kecerdasan buatan yang lebih canggih.

DAFTAR PUSTAKA

- Astija, A. (2021). Kandungan Vitamin C dari Buah Tomat Pada Tingkat Kematangan yang Berbeda. *Jurnal Biogenerasi*, 6(2), 92-98.
- Arifin, N., Insani, C. N., & Rasyid, M. R. (2023). Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Tomat menggunakan Computer Vision untuk Smart Agriculture. *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, 22(2), 509-516.
- Afrillia, Y, dkk. Alat pemisah warna objek berbasis mikrokontroller. Teknik informatika universitas malikussaleh lhokseumawe.
- Appe, S. N., Arulselvi, G., & Balaji, G. N. (2023). CAM-YOLO: tomato detection and classification based on improved YOLOv5 using combining attention mechanism. *PeerJ Computer Science*, 9, e1463.
- Badgujar, C. M., Poullose, A., & Gan, H. (2024). Agricultural object detection with You Only Look Once (YOLO) Algorithm: A bibliometric and systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 223, 109090.
- Cahyaningtyas¹, A. S., Aeni, A. N., & Adipura, H. N. PENGARUH PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PADA ERA REVOLUSI INDUSTRI 4.0 TERHADAP SUMBER DAYA MANUSIA DAN KETENAGAKERJAAN DI PASAR TENAGA KERJA.
- Cahyono, R. D. (2023). *Sistem Monitoring Kematangan Buah Berbasis IoT Menggunakan Kamera dan Sensor Gas* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Drantantiyas, N. D. G., Yulita, W., Ridwan, N. T., Ramadhani, U. A., Kesuma, R. I., Rakhman, A. Z., ... & Mufidah, Z. (2023). Performasi Deteksi Jumlah Manusia Menggunakan YOLOv8. *JASIEK (Jurnal Aplikasi Sains, Informasi, Elektronika dan Komputer)*, 5(2), 63-68.
- Difa, M. K., Suroso, J. E., & Endri, J. (2021). Implementasi Sistem Pengenalan Wajah Sebagai Automatic Door Lock Menggunakan Modul ESP32 CAM. *Patjou: Patria Arta Teknologikal Journal*, 5(2).

- Fatah, I. R., Ginting, A. H., & Ina, W. T. (2024). Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Tomat Berdasarkan Warna. *JTekEL: Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 20-25.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.
- Goda, K. D., & Neta, A. D. P. S. (2024). Kajian Pengembangan Internet of Things (IoT) pada Sektor Pertanian di Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 6(02), 478-493.
- Hassan, M. U., et al. (2022). *YOLOv4-based deep learning model for detection and classification of fruits*. *Journal of Imaging*, 8(3), 64.
- Lufianawati, D. E. T., Baharani, S. N., & Fahrizal, R. DETEKSI TINGKAT KEMATANGAN BUAH MELINJO MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA SELF ORGANIZING MAP. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(2), 70-76.
- Li, X., Zhang, J., & Yang, L. (2020). *Fruit classification based on convolutional neural networks with transfer learning*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105251.
- Liu, G., Nouaze, J. C., Touko Mbouembe, P. L., & Kim, J. H. (2020). YOLO-tomato: A robust algorithm for tomato detection based on YOLOv3. *Sensors*, 20(7), 2145.
- Low, J. H., et al. (2021). *Measuring outdoor ambient light in urban settings: Exposure patterns and visual health*. *PLOS ONE*, 16(7), e0254027.
- Khan, W. Z., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I., & Ahmed, A. (2019). Edge computing: A survey. *Future Generation Computer Systems*, 97, 219-235.
- Kurniawan, Y. A., et al. (2018). *Pendeteksian tingkat kematangan buah tomat menggunakan citra digital dan klasifikasi warna RGB*. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 6(2), 58–63.
- Murmann et al. (2019) *A Dataset of Multi-Illumination Images in the Wild*
- Mousavi, S., et al. (2021). *Tomato (Solanum lycopersicum L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 142, 112018.
- Nayak, P. K., Mahala, C., & Wang, Z. (2019). Recent advances in photodetectors based on 2D materials. *Nanophotonics*, 8(6), 1109–1134.

- Putro, A. C. M., & Rasyid, R. (2024). Rancang Bangun Detektor Kematangan Buah Kelapa Sawit Menggunakan Sensor Tcs3200 Dan Modul Wifi ESP32-CAM dengan Notifikasi via Telegram. *Jurnal Fisika Unand*, 13(1), 68-74.
- Rahman, M., et al. (2020). *Fruit recognition using color, shape, and texture features with SVM classifier*. International Journal of Computer Applications, 177(31), 13–20.
- Read, S. A., et al. (2019). *The Effects of Different Outdoor Environments, Sunglasses, and Hats on Light Levels: Implications for Myopia Prevention*. ResearchGate.
- Sari, L. D. A., Kurniawati, E., Ningrum, R. S., & Ramadani, A. H. (2021). Kadar vitamin C buah tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill) tiap fase kematangan berdasar hari setelah tanam. *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 8(1), 74-82.
- Sandi, G. H., & Fatma, Y. (2023). Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (Iot) Pada Bidang Pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 1-5.
- Shiddiqi, A. M., Ijtihadie, R. M., Ahmad, T., Wibisono, W., Anggoro, R., & Santos, B. J. (2020). Penggunaan Internet dan Teknologi IoT untuk Meningkatkan Kualitas Pendidikan. *Sewagati*, 4(3), 235-240.
- Salman, A., Yousaf, A., Khan, A. et al. (2020). "Vision-based fruit maturity classification using deep learning." *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105584.
- Silwal et al. (2021) *A Robust Illumination-Invariant Camera System for Agricultural Applications*
- Yadav, R. S., Singh, A., & Misra, A. K. (2018). "Tomato ripeness classification using machine learning techniques: A comparative analysis." *Procedia Computer Science*, 132, 158–165.
- Zulfa, L.D., Salim, D., & Silalahi, A.T. (2022). *Role of Tomato (Solanum lycopersicum) in Management and Prevention of Four Most Common Cancer in Indonesia*. SCRIPTA SCORE Scientific Medical Journal, 3(2), 186-191.
- Zebua, M, C., dkk., 2019. Studi karakter fisik dan fisiologi buah dan benih tomat (*solanum lycopersicum*) Tora IPB. *Jurnal Bul.Agrohоти*, 7(1):69-75.