# SISTEM PENGUKURAN OTOMATIS TINGKAT KEMATANGAN BUAH TOMAT MENGGUNAKAN METODE CNN DAN BERAT MENGGUNAKAN SENSOR *LOADCELL*

Yogi Yofandi[*1], Tedy Rismawan[1], Irma Nirmala[1]
[1]Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia
Penulis korespondensi: Yogi Yofandi (yogiyofandi001@student.untan.ac.id)

***Tomat (Solanum lycopersicum L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi dan memiliki tingkat konsumsi tinggi di masyarakat. Kualitas tomat ditentukan oleh tingkat kematangan dan ukurannya, yang umumnya masih dilakukan secara manual. Metode manual tersebut memerlukan waktu dan tenaga yang besar serta memiliki potensi kesalahan akibat subjektivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatis yang mampu melakukan klasifikasi tingkat kematangan dan pemilahan ukuran tomat secara optimal. Sistem ini menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan citra tomat menjadi tiga kategori, yaitu matang, setengah matang, dan mentah, dengan akuisisi citra menggunakan kamera RaspiCam. Penentuan ukuran berat tomat dilakukan menggunakan sensor Loadcell, sementara proses pengolahan data dijalankan pada Raspberry Pi 5 dan ESP32 sebagai mikrokontroler pendukung. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 120 data uji, sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat mencapai akurasi sebesar 90%, sedangkan pengukuran berat dengan sensor Loadcell menghasilkan akurasi sebesar 98,03%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu melakukan klasifikasi dan pemilahan tomat secara otomatis, cepat, dan akurat, sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam proses sortasi hasil pertanian secara efisien.***

***Keywords - Convolutional Neural Network (CNN), Klasifikasi Otomatis, Loadcell, Raspberry Pi, Tomat.***

## I. PENDAHULUAN

Tomat merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomis tinggi dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan pangan maupun produk komersial. Buah tomat mengandung berbagai nutrisi penting, seperti vitamin A, vitamin C, vitamin K, kalium, folat, tiamin, niasin, dan vitamin B6 yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Selain memiliki kandungan gizi yang tinggi, tomat juga banyak dikonsumsi dalam berbagai bentuk, baik sebagai bahan masakan, minuman, maupun produk olahan pangan[1]. Namun, tomat merupakan komoditas yang mudah rusak karena memiliki kadar air tinggi sekitar 94%, sehingga rentan mengalami penurunan kualitas dan kerugian pascapanen yang dapat mencapai 20%–50%.

Pada umumnya, penentuan tingkat kematangan buah tomat secara manual masih bergantung pada persepsi manusia, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan dalam hasil penilaian. Untuk mengatasi hal tersebut, metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dapat digunakan karena mampu melakukan klasifikasi citra dengan tingkat akurasi yang tinggi[2].

CNN adalah salah satu metode dalam deep learning yang dapat melakukan ekstraksi fitur dari citra secara otomatis. Metode ini meniru cara kerja visual cortex pada otak manusia dalam mengenali objek dengan berbagai tingkat kompleksitas. *Convolutional Neural Network* (CNN) terdiri dari beberapa lapisan konvolusi (*convolutional layers*) yang berfungsi untuk mengekstraksi fitur atau ciri khusus dari suatu citra secara bertahap. Lapisan konvolusi awal bertugas mengenali fitur sederhana, seperti garis, tepi, dan sudut, sedangkan lapisan berikutnya mempelajari fitur yang lebih kompleks, seperti tekstur, pola, dan bentuk objek. Melalui proses tersebut, CNN mampu memahami karakteristik visual suatu objek sehingga dapat mengenali dan mengklasifikasikan gambar dengan tingkat akurasi yang baik[3].

Penelitian terkait sebelumnya membahas identifikasi tingkat kematangan buah tomat berdasarkan warna. Pada penelitian ini untuk menentukan kematangan buah tomat berdasarkan warna yang dilakukan menggunakan metode YCbCr. Hasil pengujian pada deteksi kematangan buah tomat berdasarkan warna buah dengan menggunakan metode YCbCr bertujuan untuk membuktikan program yang telah dibuat agar berjalan dengan akurat[4].

Pada penelitian sebelumnya membahas identifikasi jenis tumbuhan mangrove. Penelitian ini menggunakan metode CNN sebagai identifikasi objek, yang pada penelitian ini melakukan identifikasi berdasarkan jenis tumbuhan mangrove. Hasil pengujian pada identifikasi jenis tumbuhan mangrove menggunakan *convolutional*

*neural network* menampilkan kinerja metode CNN yang diterapkan mampu mengenali jenis tumbuhan mangrove dengan akurasi 88% tanpa menggunakan kamera Raspberry Pi, sedangkan menggunakan kamera Raspberry Pi mencapai 91%, membuktikan bahwa penerapan sistem pada perangkat keras Raspberry Pi mampu meningkatkan kinerja identifikasi[5].

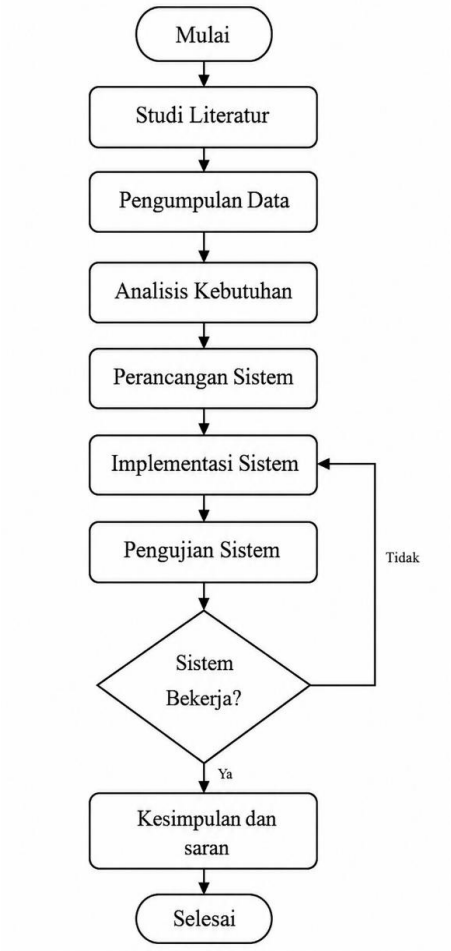
Penelitian berikutnya hanya melakukan identifikasi tingkat kematangan buah tomat. Pada penelitian ini menggunakan metode Convolutional Neural Network sebagai metode untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah tomat dengan hasil penelitian berupa akurasi sebesar 90%[6].

Dengan melihat berbagai keunggulan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan kebutuhan akan sistem otomatis untuk klasifikasi tingkat kematangan buah tomat, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan Sistem Pengukuran Otomatis Tingkat Kematangan Buah Tomat Menggunakan Metode CNN dan Berat Menggunakan Sensor Loadcell. Sistem ini diharapkan mampu mengenali dan mengklasifikasikan tomat berdasarkan tingkat kematangan buah tomat dan beratnya, sehingga dapat mendukung proses panen secara lebih tepat, terukur, dan efisien. Selain itu, sistem ini membantu proses sortasi sejak tahap panen, serta meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil panen untuk menunjang proses distribusi dan pemasaran hasil pertanian.

## II. METODE PENELITIAN

### *A. Tahapan Penelitian*

Dalam pengembangan Sistem Pengukuran Otomatis Tingkat Kematangan Buah Tomat Menggunakan Metode CNN Dan Berat Menggunakan Sensor *Loadcell*, penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang meliputi studi literatur, pengumpulan data, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian sistem, serta penyusunan kesimpulan dan saran. Tahapan-tahapan tersebut dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan sistem yang mampu mengidentifikasi tingkat kematangan buah tomat berdasarkan citra digital serta mengukur berat buah secara otomatis. Diagram alur tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.




Gambar 1. Diagram Tahapan Penelitian

### *B. Studi Literatur*

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan sumber pustaka dan dokumentasi untuk memperoleh informasi yang menunjang penelitian. Literatur dapat berupa jurnal ilmiah penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan maupun buku-buku yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

### *C. Pengumpulan Data*

Pengumpulan data merupakan tahapan untuk mengumpulkan data yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data yang bertujuan untuk mendukung penelitian "Sistem Pengukuran Otomatis Tingkat Kematangan Buah Tomat Menggunakan Metode CNN

Dan Berat Menggunakan Sensor *Loadcell"*. Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan total 2.400 dataset yang dibagi menjadi tiga kelas, yaitu 800 dataset matang, 800 dataset setengah matang, dan 800 dataset mentah. Dataset tersebut diperoleh dari Kaggle dan hasil pengambilan gambar secara langsung menggunakan kamera. Seluruh data digunakan untuk melatih model dan menguji sistem otomatisasi tingkat kematangan buah tomat dan berat menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN).

*D.Analisis Kebutuhan*

Tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan apa yang dibutuhkan dalam sistem. Ada dua jenis kebutuhan dalam sistem meliputi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Kebutuhan Perangkat Keras

Adapun perangkat keras yang digunakan dalam membangun sistem ini adalah sebagai berikut :

a. *Rapberry Pi 5* digunakan sebagai mikrokontroler.
b. NodeMCU ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler.
c. *RaspiCam* digunakan sebagai pengambilan data gambar.
d. Konveyor digunakan sebagai penggerak buah tomat.
e. *Motor Power Window* digunakan untuk menjalankan konveyor.
f. Servo digunakan sebagai pemilah buah tomat berdasarkan klasifikasi yang sudah ditentukan.
g. LCD 16x2, menampilkan hasil klasifikasi dari Raspberry pi 5.
h. *Loadcell* digunakan sebagai pengukur berat pada buah tomat.

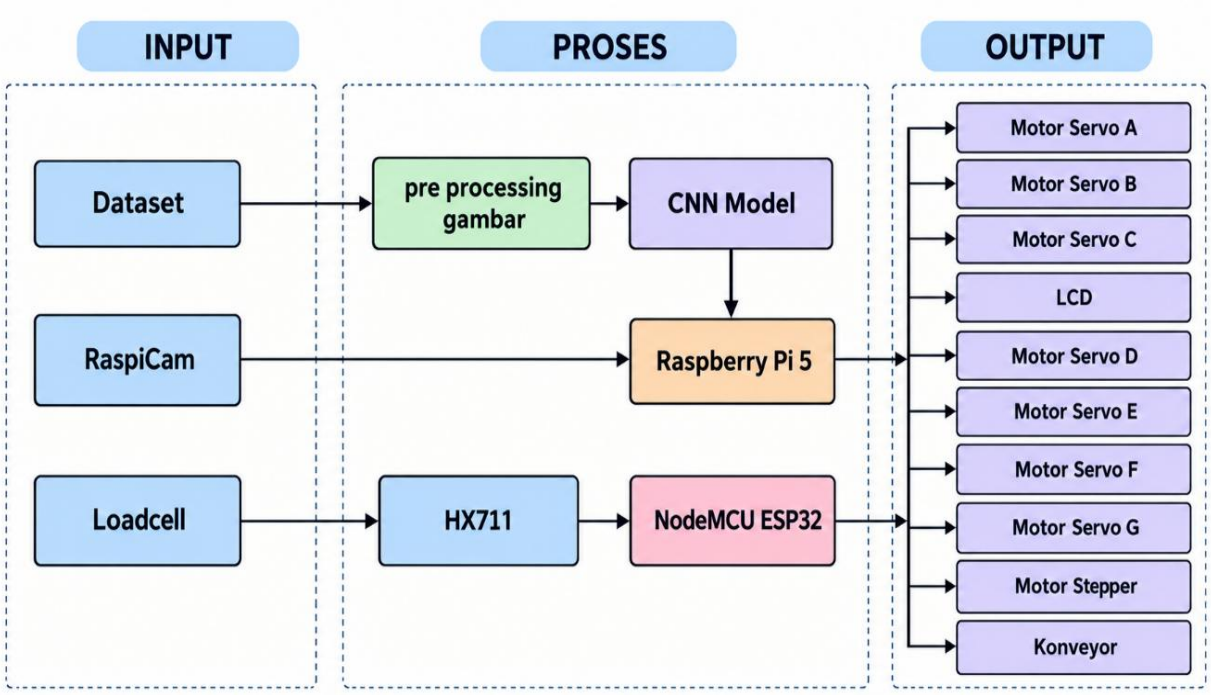
2. Kebutuhan Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang yang digunakan dalam membangun sistem ini adalah sebagai berikut :

a. *Visual Studio Code* digunakan sebagai *text editor* pemrograman.
b. *Python* digunakan sebagai bahasa pemrograman.
c. Sistem Operasi Raspbian digunakan sebagai sistem operasi pada perangkat *Raspberry Pi 5*.
d. *Dataset Kaggle* digunakan sebagai data latih dan uji.

*E. Perancangan Arsitektur Sistem*

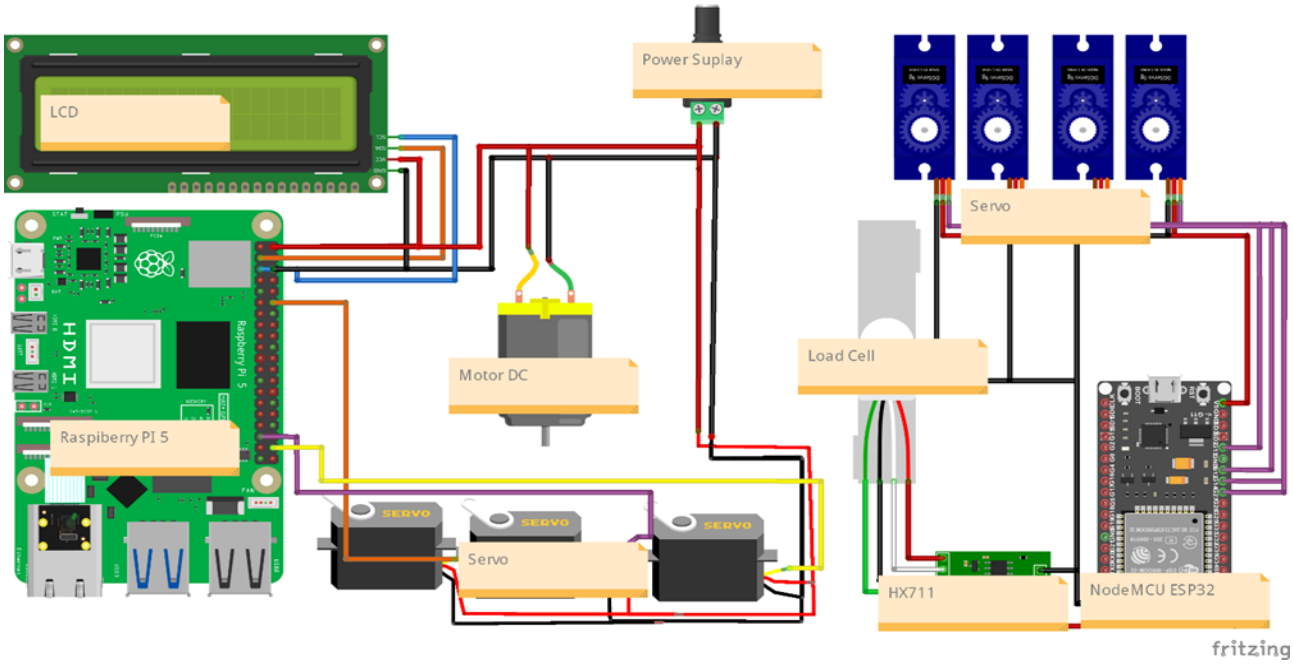
Tahap perancangan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tahap perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Dalam perancangan sistem perangkat pemilah jenis tomat, dilakukan penyusunan diagram blok yang menggambarkan hubungan dan fungsi dari setiap perangkat yang digunakan dalam sistem. Adapun diagram blok sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.




Gambar 2. Diagram Blok Sistem

1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada penelitian ini merupakan tahapan merancang komponen untuk membentuk sebuah sistem yang dapat bekerja secara terintegrasi. *Mikrokontroler Raspberry Pi 5* digunakan sebagai pengendali utama sekaligus pengolah data citra tomat yang diperoleh dari *RaspiCam* untuk melakukan klasifikasi tingkat kematangan pada buah tomat. Setelah proses klasifikasi selesai, tomat akan melalui tahap klasifikasi berat yang dilakukan oleh ESP32 yang terhubung dengan *loadcell*. Data dari *loadcell* digunakan untuk menentukan kategori berat tomat, yaitu kurang dari 55 gram termasuk ringan atau lebih dari 55 gram termasuk berat. Hasil klasifikasi tingkat kematangan maupun berat kemudian dikendalikan oleh servo yang berfungsi untuk mengarahkan tomat ke jalur pemilahan yang sesuai. Untuk mendukung proses pemindahan tomat, digunakan *motor power window* sebagai penggerak konveyor, sedangkan hasil keluaran sistem ditampilkan melalui LCD I2C 20x4 berupa informasi klasifikasi tingkat kematangan dan klasifikasi berat. Gambar perancangan keseluruhan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.




Gambar 3. Rancangan Perangkat Keras

2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada penelitian ini dilakukan untuk menggambarkan proses pelatihan dan implementasi algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) yang akan digunakan. Pada perancangan perangkat lunak terdapat alur mulai dari proses pelatihan hingga keluaran yang dijalankan pada *Raspberry Pi 5* dan *ESP32*. Pada penelitian ini, proses pelatihan model CNN dilakukan menggunakan *Raspberry Pi 5* sebagai perangkat komputasi untuk melatih data latih yang akan digunakan sebagai model klasifikasi tomat. Langkah pertama dalam proses pelatihan adalah mempersiapkan folder dataset yang berisi gambar tomat dengan tiga kategori, yaitu matang, setengah matang, dan mentah, serta berkas file *Python* untuk kode program yang akan dijalankan. *Dataset* yang digunakan berupa gambar dengan format JPEG/JPG dan PNG. Proses pelatihan dilakukan dengan cara memasukkan gambar ke dalam masing-masing folder sesuai dengan kelas yang telah ditentukan. Hasil dari proses pelatihan ini berupa model CNN yang mampu mengklasifikasi tomat berdasarkan model yang dilatih.

Setelah proses klasifikasi tingkat kematangan dilakukan oleh *Raspberry Pi 5*, sistem dilanjutkan dengan klasifikasi berat yang dilakukan oleh ESP32. Pada tahap ini, ESP32 diprogram untuk membaca data dari sensor *loadcell*. Perangkat lunak pada ESP32 akan memproses nilai berat tomat dan membandingkannya dengan ambang batas yang telah ditentukan, sehingga tomat dapat dikategorikan menjadi ringan atau berat. Berdasarkan hasil klasifikasi berat, ESP32 akan mengendalikan servo untuk mengarahkan tomat ke jalur pemilahan yang sesuai.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

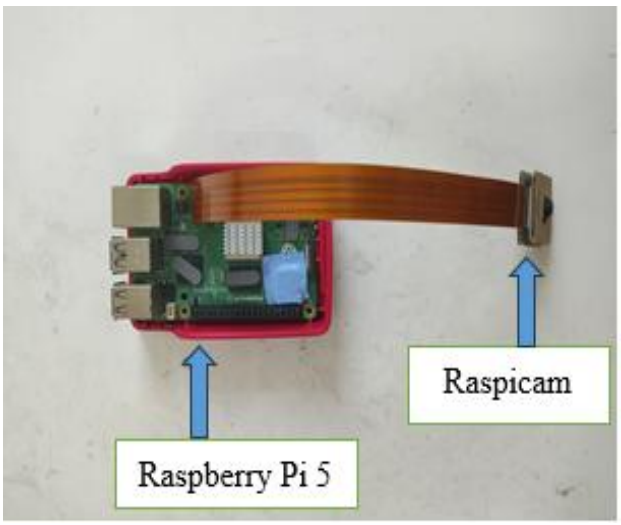
### *A. Implementasi Sistem*

Tahap implementasi sistem adalah proses menerapkan hasil rancangan sistem yang telah dibuat. Pada penelitian ini, proses implementasi terdiri dari dua jenis yaitu implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak. Implementasi perangkat keras meliputi implementasi pembacaan objek, implementasi pembacaan hasil pada LCD, implementasi perancangan sistem pada motor servo, dan implementasi perancangan sistem pada *Loadcell*. Sedangkan perangkat lunak meliputi implementasi metode *Convolutional Neural Neural Network (CNN)*. Sistem ini berfungsi untuk memilah tomat berdasarkan tingkat kematangannya, yaitu tomat matang, setengah matang, dan mentah.

### *B. Implementasi Perangkat Keras*

1. Implementasi Pembacaan Objek

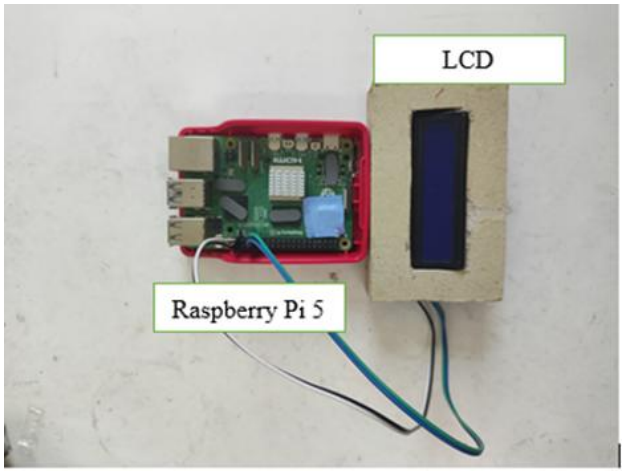
Implementasi sistem pembacaan objek pada penelitian ini menggunakan sensor kamera yang terhubung dengan Raspberry Pi 5. Kamera akan mendeteksi apabila terdapat objek berupa tomat yang akan disortir pada konveyor. Sensor kamera berfungsi sebagai pendeteksi keberadaan tomat di jalur konveyor. Rangkaian pin kamera terhubung melalui pin CAM/DISP 0 pada Raspberry Pi. Implementasi sistem pembacaan objek ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Pembacaan Objek

2. Implementasi Pembacaan Hasil Pada LCD

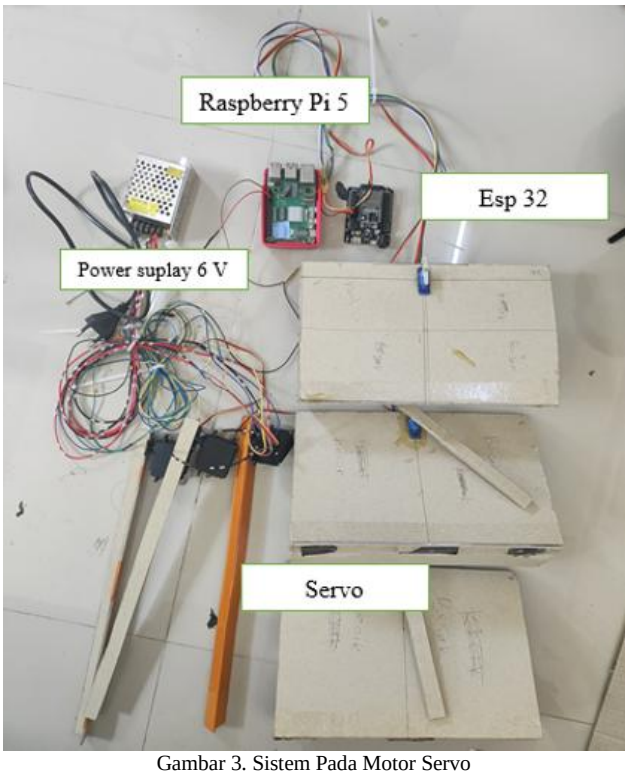
Komponen yang digunakan pada pembacaan hasil adalah *Raspberry Pi 5* dan LCD 1602. LCD 1602 dihubungkan ke *Raspberry Pi 5*, yang akan menampilkan hasil dari penelitian yang dilakukan seperti tomat matang, tomat setengah matang dan tomat mentah. seperti terlihat pada Gambar 5.




Gambar 2. Pembacaan Hasil

3. Implementasi Perancangan Sistem Pada Motor Servo

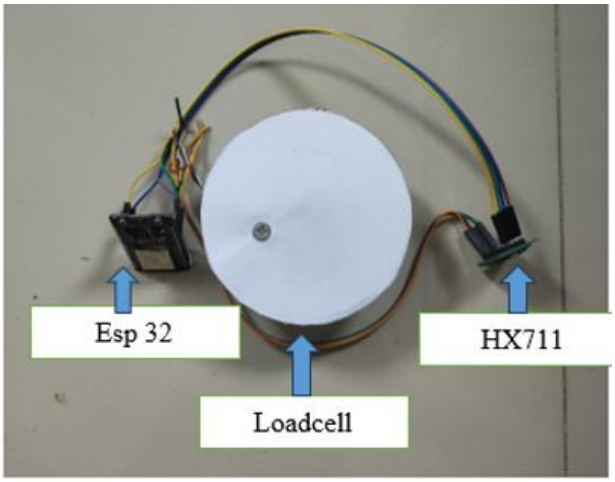
Implementasi sistem menggunakan tiga motor servo yang terhubung dengan *Raspberry Pi 5* dan empat motor servo yang terhubung dengan ESP32. Motor servo pada *Raspberry Pi 5* berfungsi untuk memilah tomat berdasarkan tingkat kematangan, yaitu mentah, setengah matang, dan matang. Adapun tiga motor servo pada ESP32 digunakan untuk memilah tomat berdasarkan berat, yaitu kategori berat dan ringan, sedangkan satu motor servo lainnya digunakan untuk menjatuhkan tomat ke konveyor. Implementasi sistem pada motor servo ditunjukkan pada Gambar 6.




Gambar 3. Sistem Pada Motor Servo

4. Implementasi Perancangan Sistem Pada Loadcell

Implementasi sistem pada pengukuran berat dilakukan dengan menggunakan sensor *loadcell* yang terhubung dengan modul HX711 sebagai penguat dan pengolah sinyal sebelum dibaca oleh *mikrokontroler* ESP32. Data hasil pembacaan berat tomat yang diperoleh dari sensor kemudian diproses oleh sistem untuk selanjutnya diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu berat dan ringan. Servo bergerak ke posisi kiri jika berat tomat terdeteksi sebagai kategori ringan, dan bergerak ke posisi kanan apabila berat tomat termasuk kategori berat. Implementasi sistem Pada *Loadcell* ditunjukkan pada Gambar 7.




Gambar 4. Sistem Pada *Loadcell*

*C. Pengujian Sistem*

1. Pengujian Sensor Loadcell

Pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian secara manual yang dilakukan dengan mengukur tomat menggunakan timbangan digital, dan pengukuran tomat yang dideteksi oleh sensor *loadcell*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Hasil *Loadcell*

| No | Pengukuran Berat Tomat (Gram) | | Galat Absolut | Galat Relatif (%) | Kategori |
|---|---|---|---|---|---|
| | Loadcell | Timbangan | | | |
| 1 | 98.3 | 96.5 | 1.8 | 1.87 | Berat |
| 2 | 75.2 | 76.8 | 1.6 | 2.08 | Berat |
| 3 | 62.3 | 61 | 1.3 | 2.13 | Berat |
| 4 | 78.2 | 80 | 1.8 | 2.25 | Berat |
| 5 | 87.1 | 85.6 | 1.5 | 1.75 | Berat |
| 6 | 79.3 | 81 | 1.7 | 2.10 | Berat |
| 7 | 65.9 | 64.2 | 1.7 | 2.65 | Berat |
| 8 | 72.1 | 73 | 0.9 | 1.23 | Berat |
| 9 | 83.5 | 82 | 1.5 | 1.83 | Berat |
| 10 | 82.9 | 84.5 | 1.6 | 1.89 | Berat |
| 11 | 83.6 | 82 | 1.6 | 1.95 | Berat |
| 12 | 71 | 72.2 | 1.2 | 1.66 | Berat |
| 13 | 85.1 | 83.5 | 1.6 | 1.92 | Berat |
| 14 | 84.1 | 86 | 1.9 | 2.21 | Berat |
| 15 | 87.6 | 89 | 1.4 | 1.57 | Berat |

| No | Pengukuran Berat Tomat (Gram) | | Galat Absolut | Galat Relatif (%) | Kategori |
|---|---|---|---|---|---|
| | Loadcell | Timbangan | | | |
| 16 | 24.9 | 25.6 | 0.7 | 2.73 | Ringan |
| 17 | 21.4 | 22 | 0.6 | 2.73 | Ringan |
| 18 | 26.2 | 25.5 | 0.7 | 2.75 | Ringan |
| 19 | 23.4 | 22.8 | 0.6 | 2.63 | Ringan |
| 20 | 98.3 | 96.5 | 1.8 | 1.87 | Berat |
| 21 | 74.8 | 76 | 1.2 | 1.58 | Berat |
| 22 | 76.5 | 75.1 | 1.4 | 1.86 | Berat |
| 23 | 80.4 | 81.7 | 1.3 | 1.59 | Berat |
| 24 | 81.8 | 80.6 | 1.2 | 1.49 | Berat |
| 25 | 84.7 | 83.3 | 1.4 | 1.68 | Berat |
| 26 | 86.6 | 87.8 | 1.3 | 1.48 | Berat |
| 27 | 88.2 | 89.5 | 1.3 | 1.45 | Berat |
| 28 | 69.6 | 70.9 | 1.3 | 1.83 | Berat |
| 29 | 67.8 | 66.4 | 1.4 | 2.11 | Berat |
| 30 | 73.9 | 75.2 | 1.3 | 1.73 | Berat |
| 31 | 77.3 | 76.1 | 1.2 | 1.58 | Berat |
| 32 | 82.4 | 83.7 | 1.3 | 1.55 | Berat |
| 33 | 85.8 | 84.2 | 1.6 | 1.9 | Berat |
| 34 | 89.1 | 90.3 | 1.2 | 1.33 | Berat |
| 35 | 91.5 | 89.9 | 1.6 | 1.78 | Berat |
| 36 | 94.2 | 95.4 | 1.2 | 1.26 | Berat |
| 37 | 96.7 | 95.3 | 1.4 | 1.47 | Berat |
| 38 | 25.3 | 24.6 | 0.7 | 2.85 | Ringan |
| 39 | 22.8 | 23.5 | 0.7 | 2.98 | Ringan |
| 40 | 24.1 | 23.3 | 0.8 | 3.43 | Ringan |
| 41 | 27.4 | 28.2 | 0.8 | 2.84 | Ringan |
| 42 | 28.6 | 27.8 | 0.8 | 2.88 | Ringan |
| 43 | 61.7 | 62.9 | 1.2 | 1.91 | Berat |
| 44 | 63.5 | 62.1 | 1.4 | 2.25 | Berat |
| 45 | 66.8 | 68 | 1.2 | 1.76 | Berat |
| 46 | 70.2 | 69 | 1.2 | 1.74 | Berat |
| 47 | 79.8 | 81.1 | 1.3 | 1.6 | Berat |
| 48 | 86.9 | 85.5 | 1.4 | 1.64 | Berat |
| 49 | 92.4 | 93.7 | 1.3 | 1.39 | Berat |
| 50 | 97.8 | 96.2 | 1.6 | 1.66 | Berat |
| Galat Rata – Rata % | | | 1.29 | 1.97 | |

Pada pengujian sensor *Loadcell*, dilakukan sebanyak 50 kali pengukuran berat tomat dengan membandingkan hasilnya terhadap timbangan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan pembacaan sensor Loadcell dalam mendeteksi berat objek (tomat) dengan ukuran kategori berat dan ringan.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, nilai galat absolut yang diperoleh berkisar antara 0.6 hingga 1.9 gram, sedangkan galat relatif berada pada rentang 1.23% hingga 3.43%. Dari data tersebut diperoleh galat rata-rata sebesar 1.97%, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{\text{Jumlah seluruh galat relatif}}{Banyaknya\ data} = \frac{98.40}{50} = 1.97\% \quad (1)$$

Selanjutnya, nilai akurasi pengukuran dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Galat Relatif Rata-rata akurasi} \quad (2)$$
$$= 100\% - 1.97\%$$
$$= 98.03\%$$

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *loadcell* memiliki tingkat akurasi sebesar 98.03%, yang berarti sensor ini mampu mengukur berat tomat dengan ketelitian tinggi dan selisih yang sangat kecil dibandingkan timbangan standar.

2. Pengujian *Convolutional Neural Network* (CNN)

Pengujian *Convolutional Neural Network* (CNN) dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model dalam mengenali dan mengklasifikasikan tingkat kematangan tomat berdasarkan citra yang diambil menggunakan kamera *Raspberry Pi (RaspiCam)*. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model CNN yang telah dilatih sebelumnya dapat dijalankan secara optimal pada perangkat *Raspberry Pi*, serta mampu melakukan inferensi secara real-time dengan hasil yang akurat. Dataset uji yang digunakan terdiri dari 2.400 dataset citra tomat yang dibagi menjadi tiga kelas utama, yaitu 800 dataset tomat mentah, 800 dataset tomat setengah matang, dan 800 dataset tomat matang.

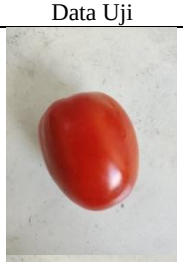
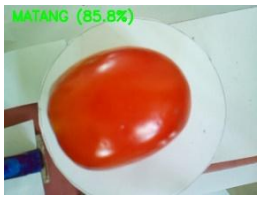
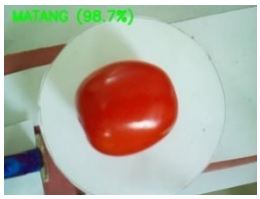
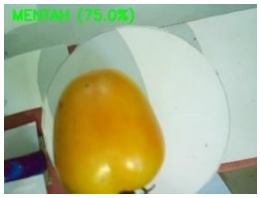
Proses pengujian dimulai dengan pengambilan citra tomat secara langsung menggunakan *RaspiCam* yang terhubung ke *Raspberry Pi*. Setiap citra yang diambil akan diproses oleh model CNN yang telah dikonversi ke format *TensorFlow Lite* (.tflite) agar dapat dijalankan secara efisien pada perangkat dengan sumber daya terbatas. Model CNN kemudian melakukan proses prediksi kelas berdasarkan karakteristik visual pada citra tomat. Hasil prediksi ditampilkan melalui terminal atau disimpan ke dalam file hasil untuk proses evaluasi lebih lanjut.

Evaluasi performa model CNN dilakukan dengan menggunakan confusion matrix untuk menghitung nilai akurasi. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menilai seberapa baik sistem dapat mengklasifikasikan setiap tingkat kematangan tomat secara tepat. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh gambaran mengenai tingkat keandalan model CNN dalam mengenali objek secara langsung melalui kamera Raspberry Pi, serta kemampuan sistem dalam mempertahankan performa klasifikasi pada kondisi pencahayaan dan posisi objek yang bervariasi.

Pada proses pengujian sistem ini digunakan 120 data uji yang terbagi menjadi enam kelas, yaitu tomat matang berat, tomat matang ringan, tomat setengah matang berat, tomat setengah matang ringan, tomat mentah ringan, tomat mentah berat, masing-masing kelas mempunyai 20 data uji. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dalam mengenali dan mengklasifikasikan jenis tomat sesuai dengan model yang telah dilatih sebelumnya. Hasil identifikasi akan dibandingkan dengan kelas sebenarnya untuk mengevaluasi sistem dengan menggunakan persamaan *confusion matrix* yang

mencakup nilai akurasi. Beberapa hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian CNN

| No. | Data Uji | Actual | Predict | Hasil Pengujian | Status |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. |  | Matang | Matang |   | Benar |
| 2. |  | Matang | Setengah Matang |   | Salah |
| 3. |  | Matang | Matang |   | Benar |
| 4. |  | Setengah Matang | Mentah |   | Salah |
| 5. |  | Setengah Matang | Setengah Matang |   | Benar |
| 6. |  | Setengah Matang | Setengah Matang |   | Benar |

3. Pengujian Keseluruhan Sistem

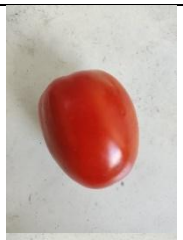
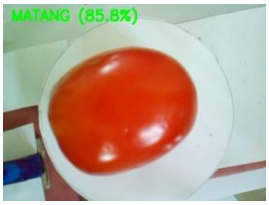
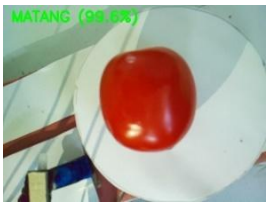
Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Sistem ini terdiri dari yaitu kamera *Raspberry Pi* sebagai pengambil citra tomat, model *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk klasifikasi tingkat kematangan dan ESP32 yang berfungsi dalam proses pengelompokan ukuran tomat menggunakan servo dan *loadcell*.

Pada tahap pengujian, *Raspberry Pi 5* yang telah dilengkapi dengan modul kamera *RaspiCam* digunakan untuk menangkap citra tomat. Citra yang diperoleh kemudian diproses oleh model CNN yang telah dilatih sebelumnya untuk mengenali tiga tingkat kematangan tomat, yaitu matang, setengah matang, dan mentah, setelah itu servo akan mengklasifikasikan tomat sesuai hasil CNN yang di dapatkan. Hasil klasifikasi tingkat kematangan tersebut selanjutnya di servo yang dikendalikan mikrokontroler ESP32 untuk dilakukan proses klasifikasi ukuran. Modul *loadcell* digunakan untuk mengukur berat tomat yang telah diklasifikasikan tingkat kematangannya. Berdasarkan berat yang terdeteksi, ESP32 akan menggerakkan servo untuk memisahkan tomat ke dalam dua kategori ukuran, yaitu berat dan ringan. Dengan demikian, sistem mampu menghasilkan enam kombinasi kategori klasifikasi, yaitu matang berat, matang ringan, setengah matang berat,

setengah matang ringan, mentah berat, dan mentah ringan.

Pada proses pengujian sistem ini digunakan 120 data uji yang terbagi menjadi enam kelas, yaitu tomat matang berat, tomat matang ringan, tomat setengah matang berat, tomat setengah matang ringan, tomat mentah ringan, tomat mentah berat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dalam mengenali dan mengklasifikasikan jenis tomat sesuai dengan model yang telah dilatih sebelumnya. Hasil identifikasi akan dibandingkan dengan kelas sebenarnya untuk mengevaluasi sistem dengan menggunakan persamaan *confusion matrix* yang mencakup nilai akurasi. Beberapa hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

| No. | Data uji | Tingkat kematangan | Ukuran | Hasil Pengujian | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tingkat Kematangan | Ukuran | |
| 1. |  | Matang | Berat |   | Berat | Tingkat kematangan benar, ukuran benar |
| 2. |  | Matang | Ringan |   | Ringan | Tingkat kematangan benar, ukuran benar |
| 3. |  | Setengah Matang | Berat |   | Berat | Tingkat kematangan salah, ukuran benar |
| 4. |  | Setengah Matang | Berat |   | Berat | Tingkat kematangan benar, ukuran benar |
| 5. |  | Mentah | Ringan |   | Ringan | Tingkat kematangan salah, ukuran benar |
| 6. |  | Mentah | Berat |   | Berat | Tingkat kematangan benar, ukuran benar |

Berdasarkan hasil pengujian, sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat menggunakan kamera *Raspberry Pi* dengan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) berhasil mengidentifikasi citra tomat menjadi enam kelas, yaitu yaitu tomat matang berat, tomat matang ringan, tomat setengah matang berat, tomat setengah matang ringan, tomat mentah berat, tomat mentah ringan. Dari total 120 data uji, sistem berhasil mengidentifikasi citra dengan benar sebanyak 108 data uji, dan terdapat 12 data uji yang mengalami kesalahan klasifikasi. Dengan demikian, diperoleh akurasi sebesar 90% untuk pengujian sistem menggunakan kamera *Raspberry Pi*.

Hasil keseluruhan pengujian akan dirangkum dalam *confusion matrix* mencakup nilai akurasi. Hal ini

bertujuan untuk menilai performa model secara menyeluruh dan objektif berdasarkan data uji. *Confusion matrix* pengujian sistem sistem klasifikasi buah tomat dengan *raspicam* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Confusion Matrix

| | | Predict | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Matang | Setengah Matang | Mentah |
| Aktual | Matang | 37 | 2 | 1 |
| | Setengah Matang | 0 | 32 | 8 |
| | Mentah | 0 | 1 | 39 |

Berdasarkan hasil Tabel 4 *confusion matrix*, Sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat menggunakan *raspicam* dengan metode CNN berhasil mengklasifikasi objek tomat menjadi 3 kelas yaitu mentah, setengah matang, dan matang. Dari total 120 data uji, sistem berhasil mengklasifikasi tomat mentah sebanyak 39 data uji, dan 1 data uji lainnya mengalami kesalahan. Tomat setengah matang berhasil menglasifikasi 32 data uji dan 8 lain mengalami kesalahan, sedangkan pada tomat matang berhasil mengklasifikasi 37 data uji, 3 data lain mengalami kesalahan.

Berdasarkan hasil *confusion matrix*, perhitungan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana model mampu mengklasifikasi data uji dengan benar. Berikut adalah perhitungan dari hasil data uji *confusion matrix* dengan rumus akurasi dibawah ini :

$$\text{Akurasi} = \frac{37+32+39}{120} \text{ x } 100\% \quad (3)$$
$$= \frac{108}{120} \text{ x } 100\%$$
$$= 90\ \%$$

*D.Pembahasan*

Pada pengujian sensor *loadcell*, dilakukan sebanyak 50 kali pengukuran berat tomat dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap timbangan digital sebagai acuan standar. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan sensor dalam mengukur berat tomat dengan variasi ukuran dan berat yang berbeda. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 5.1, diperoleh nilai galat absolut berkisar antara 0,6 hingga 1,9 gram, sedangkan galat relatif berada pada rentang 1,23% hingga 3,43%. Nilai galat relatif rata-rata yang diperoleh sebesar 1,97%, sehingga tingkat akurasi pengukuran sensor *loadcell* mencapai 98,03%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor *loadcel*l mampu melakukan pengukuran berat tomat dengan tingkat ketelitian yang baik. Perbedaan hasil pengukuran antara sensor *loadcell* dan timbangan digital dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti sensitivitas sensor, posisi peletakan tomat pada permukaan timbangan, getaran pada perangkat, serta kondisi kalibrasi sensor. Selain itu, perubahan tekanan yang diterima sensor juga dapat memengaruhi kestabilan nilai pembacaan. Meskipun terdapat perbedaan hasil pengukuran, nilai galat yang relatif kecil menunjukkan bahwa sensor *loadcell* memiliki kemampuan yang baik dalam mendeteksi berat tomat dan dapat digunakan sebagai komponen pendukung dalam sistem klasifikasi.

Selanjutnya, pada pengujian sistem *Convolutional Neural Network* (CNN), dilakukan sebanyak 120 kali pengujian citra tomat untuk mengetahui kemampuan model dalam mengklasifikasikan tingkat kematangan dan ukuran tomat. Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengidentifikasi 108 data uji dengan benar, sedangkan 12 data uji lainnya mengalami kesalahan klasifikasi. Dengan demikian, model CNN memperoleh tingkat akurasi sebesar 90%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model mampu mengenali sebagian besar citra tomat sesuai dengan label kelas yang sebenarnya. Tingginya nilai akurasi ini menunjukkan bahwa proses pelatihan model telah mampu mempelajari karakteristik visual dari setiap kelas, seperti perbedaan warna, tekstur, bentuk, dan ukuran tomat.

Meskipun demikian, masih terdapat 10% kesalahan klasifikasi yang menunjukkan bahwa model belum sepenuhnya mampu mengenali seluruh karakteristik citra dengan tepat. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kemiripan karakteristik visual antar kelas, terutama pada tomat yang memiliki tingkat kematangan hampir sama. Sebagai contoh, tomat yang berada pada tahap peralihan kematangan dapat memiliki warna yang menyerupai kelas kematangan lainnya sehingga model kesulitan membedakan kedua kategori tersebut. Selain itu, perbedaan kondisi pencahayaan, bayangan, sudut pengambilan gambar, serta jarak kamera terhadap objek dapat memengaruhi tampilan warna dan bentuk citra. Faktor lainnya adalah adanya variasi bentuk, ukuran, dan kondisi permukaan tomat yang menyebabkan karakteristik visual dalam satu kelas tidak selalu seragam.

Berdasarkan hasil keseluruhan pengujian, baik pada sensor *loadcell* maupun model CNN, sistem klasifikasi tomat menunjukkan performa yang baik. Sensor *loadcell* memperoleh tingkat akurasi sebesar 98,03% dalam melakukan pengukuran berat tomat, sedangkan model CNN memperoleh akurasi sebesar 90% dalam mengklasifikasikan citra tomat berdasarkan tingkat kematangan. Perbedaan tingkat akurasi tersebut menunjukkan bahwa pengukuran berat menggunakan sensor *loadcell* memiliki tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan proses klasifikasi citra menggunakan CNN. Hal ini dapat terjadi karena pengukuran berat dilakukan berdasarkan perubahan sinyal fisik yang relatif terukur, sedangkan klasifikasi citra dipengaruhi oleh berbagai karakteristik visual yang dapat berubah sesuai kondisi pengambilan gambar.

Selain itu, hasil pengujian CNN juga dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan yang lebih terkontrol saat pengambilan citra menggunakan kamera *raspberry Pi*. Kondisi tersebut membantu menghasilkan kualitas citra yang lebih konsisten sehingga proses *preprocessing* dapat berjalan dengan lebih baik. Namun, faktor pencahayaan yang baik belum sepenuhnya menghilangkan kemungkinan terjadinya kesalahan klasifikasi karena masih terdapat faktor lain, seperti kemiripan warna, variasi bentuk tomat, dan karakteristik objek yang sulit dibedakan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi sensor *loadcell* dan

model CNN mampu mendukung proses klasifikasi tomat berdasarkan berat dan tingkat kematangan dengan tingkat akurasi yang baik.

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

### *A. Kesimpulan*

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sistem pemilah tingkat kematangan dan berat buah tomat berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN), *Raspberry Pi 5*, kamera *RaspiCam*, sensor *Loadcell*, servo motor, dan konveyor berhasil diimplementasikan untuk melakukan klasifikasi kematangan secara otomatis ke dalam kategori matang, setengah matang, dan mentah serta pengukuran berat buah dengan tingkat akurasi klasifikasi sebesar 90% pada 120 data uji dan akurasi pengukuran berat sebesar 98.03% dengan rata-rata galat relatif 1.97% pada 50 data uji, sehingga menunjukkan kinerja yang baik dan layak diterapkan sebagai alat bantu pemilahan tomat secara otomatis.

### *B. Saran*

Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan antarmuka berbasis web atau aplikasi mobile untuk pemantauan secara *real-time* serta meningkatkan jumlah dan variasi data latih citra tomat agar akurasi dan stabilitas model *Convolutional Neural Network* (CNN) dalam mengenali tingkat kematangan tomat menjadi lebih baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta motivasi selama pelaksanaan penelitian. Berbagai dukungan tersebut sangat berperan dalam membantu penulis menyelesaikan setiap tahapan penelitian hingga penyusunan laporan ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi pengalaman berharga dalam proses penyusunan karya ilmiah di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Jupri, S. Billah, and T. Rozi, "Pemanfaatan Komoditas Tomat ( Lycopersicum esculentum Mill ) Guna Menciptakan Nilai Tambah Dengan Melakukan Sosialisasi Pembuatan Manisan Tomat di Desa Paok Pampang Kecamatan Sukamulia Lombok Timur," pp. 236–240, 2023.

[2] A. Ahmad, I. S. K. Idris, and A. Bode, "Klasifikasi Jenis Buah Tomat Menggunakan Covolutional Neural network," *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 2, pp. 83–89, 2023.

[3] T. C. Yunanto, K. Gunadi, and A. N. Purbowo, "Implementasi Convolutional Neural Network untuk Mengetahui Buah Tomat yang Matang pada Pohon Tomat Menggunakan Perangkat Android," *J. Infra*, vol. 8, no. 1, pp. 306–311, 2020.

[4] M. S. Nasution and N. Fadillah, "Deteksi Kematangan Buah Tomat Berdasarkan Warna Buah dengan Menggunakan Metode YCbCr," *InfoTekJar (Jurnal Nas. Inform. dan Teknol. Jaringan)*, vol. 3, no. 2, pp. 147–150, 2019, doi: 10.30743/infotekjar.v3i2.1059.

[5] I. Samudra, T. Rismawan, and I. Nirmala, "Sistem Identifikasi Jenis Tumbuhan Mangrove Menggunakan Metode Convolutional Neural Network ( CNN )," vol. 10, no. 1, pp. 178–189, 2025.

[6] K. S. Nurbidin and I. K. G. Suhartana, "Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Tomat Menggunakan Convolution Neural Network (Cnn)," *J. Nas. Teknol. Inf. dan Apl.*, vol. 1, no. 1, pp. 749–754, 2023.