

Pengembangan Mobilitas dan Sensor pada Robot Pemetik Buah Stroberi

Ahmad Fahrur Maulana^{1*}, Putri², Simon Ka'ka³ dan Paisal⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: paisal@poliupg.ac.id

Abstract: *This research aims to develop the mobility and sensor systems of a strawberry-picking robot so that it can move stably in garden areas and harvest fruit without causing damage. The research method includes the design of the mechanical structure, assembly of an electronic system based on Raspberry Pi and Arduino Uno, and programming of strawberry ripeness detection using the You Only Look Once (YOLOv8) algorithm. The robot is designed with four wheels driven by DC motors, a manipulator equipped with a servo motor, and a distance sensor to maintain the position of the end-effector relative to the fruit. The test results show that the YOLOv8-based detection system is capable of identifying the ripeness level of strawberries with consistent accuracy. The manipulator can adjust its position relative to the fruit and perform automatic picking. The mobility system demonstrates stable movement on uneven terrain and is able to stop automatically when a ripe fruit is detected. The integration between the detection system, manipulator control, and drive system operates in real time, although there is still a slight delay due to the processing limitations of the Raspberry Pi 5. It can be concluded that the development of mobility and sensor systems in the strawberry-picking robot can improve the effectiveness of automated harvesting, minimize fruit damage, and support efficiency in agricultural production.*

Keywords: *Harvesting robot, strawberry, mobility, sensor, YOLOv8, Raspberry Pi.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem mobilitas dan sensor pada robot pemetik stroberi agar mampu bergerak dengan stabil di area kebun serta memetik buah tanpa menimbulkan kerusakan. Metode penelitian meliputi perancangan struktur mekanik, perakitan sistem elektronik berbasis Raspberry Pi dan Arduino Uno, serta pemrograman pendeteksi tingkat kematangan stroberi menggunakan algoritma *You Only Look Once* (YOLOv8). Robot dirancang dengan empat roda yang digerakkan motor DC, manipulator dengan motor servo, serta sensor jarak untuk menjaga posisi end-effector terhadap buah. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem deteksi berbasis YOLOv8 mampu mengidentifikasi tingkat kematangan stroberi dan tingkat akurasi yang konsisten. Manipulator dapat menyesuaikan posisi terhadap buah dan memetik secara otomatis. Sistem mobilitas menunjukkan kestabilan pergerakan yang baik di medan tidak rata dan mampu berhenti otomatis saat buah matang terdeteksi. Integrasi antara sistem deteksi, kendali manipulator, dan penggerak bekerja secara real time meskipun masih terdapat sedikit jeda akibat keterbatasan pemrosesan Raspberry Pi 5. Dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem mobilitas dan sensor pada robot pemetik stroberi mampu meningkatkan efektivitas pemanenan otomatis, meminimalisasi kerusakan buah, serta mendukung efisiensi dalam produksi pertanian.

Kata kunci: Robot pemetik, stroberi, mobilitas, sensor, YOLOv8, Raspberry Pi.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika dan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai sektor industri, termasuk sektor pertanian. Penerapan teknologi robotika dalam bidang pertanian bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi ketergantungan terhadap tenaga kerja manusia, serta meningkatkan kualitas hasil panen melalui proses otomatisasi yang lebih presisi [1]. Salah satu aplikasi yang berkembang pesat adalah penggunaan robot pemetik buah (fruit harvesting robot) yang dirancang untuk melakukan proses identifikasi, pemetikan, dan pengumpulan buah secara otomatis.

Buah stroberi merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang membutuhkan proses pemanenan secara hati-hati karena teksturnya yang lunak dan mudah rusak. Proses pemetikan stroberi secara manual seringkali memerlukan tenaga kerja yang cukup banyak serta ketelitian tinggi untuk memastikan buah yang dipanen berada pada tingkat kematangan yang tepat [2]. Oleh karena itu, pengembangan robot pemetik buah stroberi menjadi solusi yang potensial untuk

meningkatkan efisiensi panen serta mengurangi risiko kerusakan buah selama proses pemanenan.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan berbagai sistem robot pemetik buah dengan memanfaatkan teknologi pengolahan citra dan sistem manipulasi robotik. Penelitian mengenai rancang bangun end-effector pada robot pemetik buah tomat berbasis Raspberry Pi menunjukkan bahwa penggunaan kamera dan sistem pengolahan citra mampu mendeteksi tingkat kematangan buah dan menggerakkan gripper secara otomatis untuk melakukan pemetikan [3]. Penelitian lain juga mengembangkan robot pemetik buah kelapa berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang dilengkapi sistem pendeteksi visual serta mekanisme pemotong buah otomatis yang dikendalikan melalui sistem komunikasi nirkabel [4].

Selain sistem manipulasi robot, pengembangan sistem mobilitas dan navigasi robot juga menjadi aspek penting dalam perancangan robot pertanian. Beberapa penelitian telah memanfaatkan integrasi antara mikrokontroler, komputer mini seperti Jetson Nano, serta platform Robot Operating System (ROS) untuk mengendalikan pergerakan robot secara lebih fleksibel dan presisi [5]. Integrasi sistem penggerak dengan sensor serta sistem kendali berbasis perangkat lunak memungkinkan robot bergerak secara otomatis di area pertanian dan melakukan tugas secara terkoordinasi.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi pengolahan citra berbasis deep learning juga semakin banyak digunakan dalam sistem robotika pertanian. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah algoritma YOLO (You Only Look Once) yang memiliki kemampuan deteksi objek secara cepat dan akurat dalam aplikasi real time [6]. Penggunaan algoritma YOLO pada sistem robot pemetik buah memungkinkan proses identifikasi objek seperti buah matang dilakukan secara lebih efisien berdasarkan warna, bentuk, dan ukuran objek yang terdeteksi [7].

Berdasarkan perkembangan teknologi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem robot pemetik buah stroberi yang dilengkapi dengan sistem mobilitas dan sensor untuk mendukung proses pemanenan secara otomatis. Sistem robot yang dikembangkan terdiri dari dua bagian utama, yaitu sistem penglihatan berbasis algoritma YOLOv8 yang dijalankan pada Raspberry Pi 5 serta sistem penggerak robot yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega. Kamera yang dipasang pada bagian gripper berfungsi untuk mendeteksi buah stroberi matang berdasarkan karakteristik visualnya, kemudian data hasil deteksi digunakan sebagai referensi untuk menggerakkan manipulator agar posisi gripper sejajar dengan buah yang akan dipetik [8].

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem manipulator mampu bergerak menyesuaikan posisi objek yang terdeteksi serta melakukan proses pemetikan buah secara berurutan dan terkoordinasi. Namun demikian, keterbatasan kemampuan pemrosesan pada Raspberry Pi 5 menyebabkan sistem mengalami jeda (lag) saat melakukan deteksi objek secara real time, sehingga gerakan manipulator menjadi kurang presisi dan masih menimbulkan kerusakan kecil pada sebagian buah [9]. Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan telah menunjukkan keberhasilan dalam mengintegrasikan sistem deteksi visual, sistem penggerak robot, serta navigasi otomatis secara sinkron.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem mobilitas dan sensor pada robot pemetik buah stroberi yang mampu mengintegrasikan teknologi pengolahan citra, sistem kontrol robotik, serta mekanisme manipulator secara terpadu. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi robotika pertanian yang lebih efisien, presisi, serta mampu meningkatkan produktivitas proses pemanenan buah secara otomatis [10].

II. METODE PENELITIAN

Pada tahap desain, dilakukan perancangan perangkat keras mekanik dan elektronik untuk mendukung penelitian ini.

a. Sistem Mekanik

Robot ini dilengkapi dengan empat roda yang dirancang untuk bergerak secara stabil di permukaan tanah yang lembap, seperti kondisi yang sering ditemui pada area perkebunan stroberi.

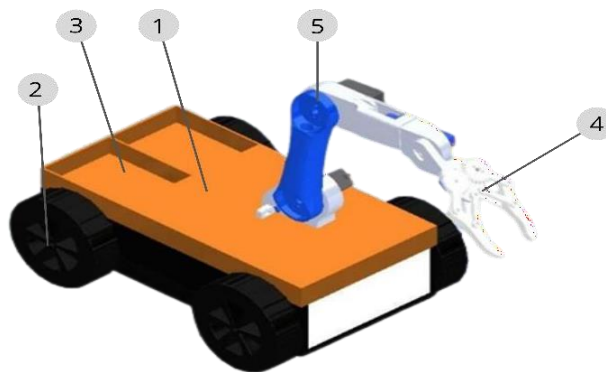
Sistem roda tersebut memungkinkan robot memiliki mobilitas yang baik saat melakukan pergerakan di antara barisan tanaman.

Selain sistem penggerak, robot juga dilengkapi dengan manipulator yang berfungsi untuk menjangkau dan memetik buah stroberi secara langsung. Manipulator dirancang agar proses pemetikan dapat dilakukan secara presisi sehingga dapat meminimalkan kerusakan pada buah maupun tanaman di sekitarnya. Desain mekanik robot secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.

Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan kapasitas daya yang dibutuhkan robot ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$TM = \frac{\mu \times m \times g \times R}{N \times hG} \quad (1)$$

Beberapa simbol yang digunakan dalam proses perhitungan adalah sebagai berikut: Simbol μ menyatakan *koefisien gesek*, m menunjukkan massa benda yang dinyatakan dalam satuan kilogram (Kg). g merepresentasikan percepatan gravitasi dengan satuan meter per detik kuadrat (m/s^2), R menunjukkan jari-jari dalam satuan meter (m). N melambangkan *gaya normal* yang dinyatakan dalam Newton (N.m), dan hG menggambarkan efisiensi sistem yang digunakan dalam analisis.

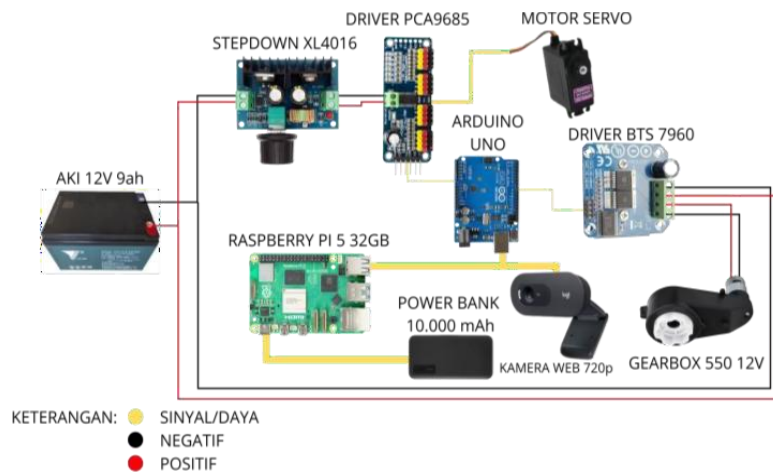


Gambar 1. Desain 3D

Robot ini memiliki beberapa komponen utama, yaitu: Body robot, Roda penggerak, Keranjang buah, End effector (gripper), dan Manipulator.

b. Sistem Elektronik

Sistem elektronik pada robot ini menggunakan Raspberry Pi sebagai perangkat kendali utama (main control device) yang bertugas menjalankan program pengolahan citra serta pengambilan keputusan dalam proses pendeteksian buah. Selain itu, Arduino Uno digunakan sebagai pengontrol aktuator robot yang menerima perintah dari Raspberry Pi untuk menggerakkan komponen mekanik seperti motor dan manipulator. Komunikasi antara Raspberry Pi dan Arduino Uno memungkinkan sistem robot bekerja secara terintegrasi, di mana Raspberry Pi memproses data dari kamera untuk mendeteksi kematangan buah, kemudian mengirimkan perintah ke Arduino Uno untuk menggerakkan aktuator sesuai dengan hasil deteksi tersebut. Rangkaian listrik yang digunakan dalam sistem robot ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Listrik Sistem Robot

Adapun rumus yang digunakan dalam menentukan kapasitas daya yang dibutuhkan robot adalah sebagai berikut :

Rumus total daya robot [4]:

$$P = V \times I \tag{2}$$

Jika memiliki beberapa motor atau perangkat, arusnya dijumlahkan dengan persamaan berikut [5]:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots \tag{3}$$

Rumus menentukan kapasitas aki, dengan persamaan [6]:

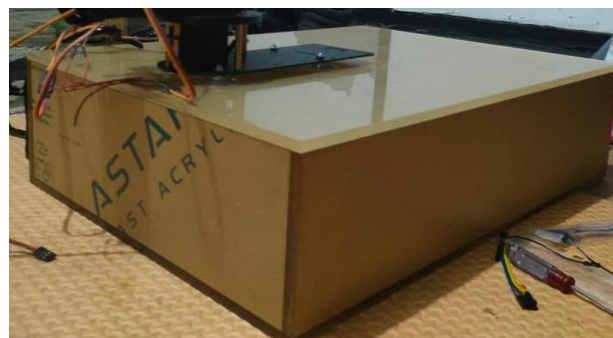
$$C = P_{total} \times t \tag{4}$$

Beberapa simbol yang digunakan dalam perhitungan daya robot antara lain C sebagai kapasitas daya, P_{total} sebagai total daya, T sebagai waktu, dan V sebagai tegangan [5].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Mekanik

Desain **base** robot dilengkapi dengan keranjang yang berfungsi untuk menampung buah stroberi yang telah dipetik, sehingga manipulator dapat mengumpulkan buah dalam jumlah yang lebih banyak. Selain itu, base juga berfungsi untuk melindungi komponen elektronik dari debu, air, serta guncangan selama robot beroperasi di area kebun. Hasil pembuatan base robot ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pembuatan base

Pembuatan manipulator terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain dudukan servo, dudukan mur, lengan bearing, lengan servo, serta lengan berbentuk U. Servo dipilih karena memiliki

torsi yang cukup tinggi sehingga mampu mengangkat atau menggerakkan beban manipulator dengan baik, serta dapat dikendalikan secara terprogram untuk mengatur pergerakan lengan robot secara presisi. Selain itu, pada bagian rangka atau bodi robot dilakukan proses penggantian material akrilik pada setiap sisinya akibat kerusakan yang terjadi selama tahap pengujian awal. Penggantian tersebut menggunakan lembar akrilik baru dengan ukuran dan ketebalan yang sama sehingga tidak menyebabkan perubahan pada dimensi keseluruhan robot. Hasil pengerjaan mekanik robot secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Pengerjaan Mekanik

B. Hasil Perancangan Elektronik

Proses perancangan elektronik diawali dengan pemasangan komponen elektronik pada rangka robot yang telah disediakan. Langkah pertama dilakukan dengan menata dan menyusun komponen utama, seperti Raspberry Pi, pada posisi yang telah dirancang sebelumnya. Selanjutnya dilakukan proses pengkabelan secara cermat dan teratur untuk memastikan seluruh sambungan antar komponen dapat berfungsi dengan baik.

Sumber daya utama sistem menggunakan aki 12 V 9 Ah yang berfungsi untuk menyuplai daya pada seluruh motor penggerak robot. Selain itu, digunakan power bank sebagai sumber daya untuk Raspberry Pi 5, yang kemudian dihubungkan dengan Arduino Uno serta kamera webcam sebagai perangkat pendukung sistem deteksi visual. Hasil perakitan sistem elektronik pada robot dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil dari Perakitan Sistem Elektronik

C. Hasil Rancangan Program

Output dari perancangan program pada proyek ini terdiri atas dua komponen utama yang masing-masing memiliki fungsi penting dalam mendukung sistem pendeteksi dan pemetik buah stroberi. Program yang dijalankan pada Raspberry Pi bertugas untuk melakukan proses deteksi tingkat kematangan buah menggunakan algoritma YOLOv8, serta menampilkan hasil identifikasi objek secara

visual melalui antarmuka sistem. Hasil dari proses deteksi tingkat kematangan buah yang dijalankan pada Raspberry Pi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Dari Program Raspi (Akurasi Kematangan Buah)

D. PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1, waktu deteksi kamera berada pada kisaran 0,79–0,80 detik, yang menunjukkan bahwa sistem deteksi berbasis kamera mampu bekerja secara stabil dan konsisten dalam mengidentifikasi objek buah stroberi. Waktu deteksi yang relatif konstan ini menunjukkan bahwa algoritma pengenalan objek yang dijalankan pada Raspberry Pi mampu memproses citra dengan cepat tanpa mengalami fluktuasi waktu yang signifikan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Waktu Deteksi Kamera, Jarak Gripper ke Buah, Waktu Pemetikan, dan Hasil Pemetikan

No	Waktu Deteksi Kamera [s]	Jarak Gripper ke Buah [cm]	Waktu Pemetikan [s]	Hasil Pemetikan Buah Bagus <input checked="" type="checkbox"/> / Rusak <input type="checkbox"/>
1	0,79	19	67	<input type="checkbox"/>
2	0,80	16	46	<input type="checkbox"/>
3	0,79	21	130	<input type="checkbox"/>
4	0,80	20	70	<input type="checkbox"/>
5	0,79	14	44	<input type="checkbox"/>
6	0,79	18	50	<input type="checkbox"/>
7	0,80	17	49	<input type="checkbox"/>
8	0,79	20	72	<input type="checkbox"/>
9	0,79	15	45	<input checked="" type="checkbox"/>
10	0,79	19	68	<input checked="" type="checkbox"/>

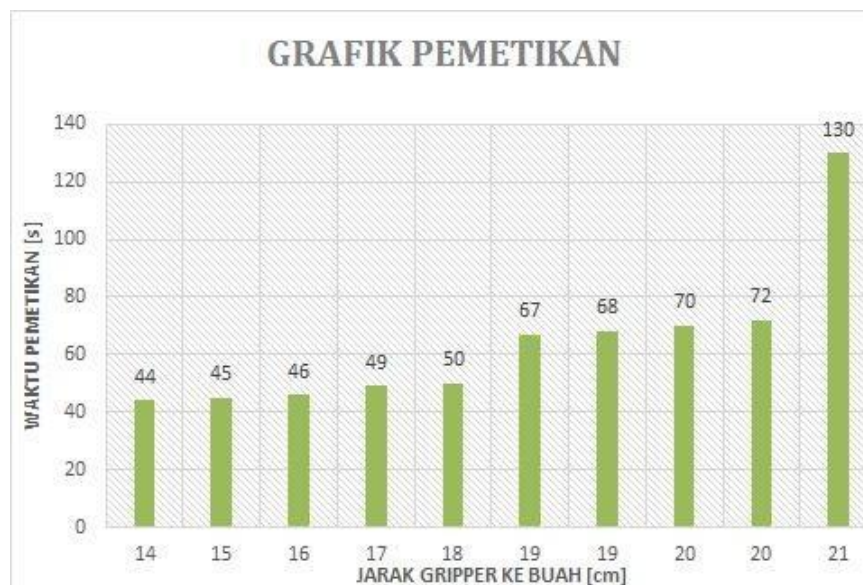
Namun demikian, waktu pemetikan menunjukkan variasi yang cukup besar, yaitu antara 44 hingga 130 detik. Variasi ini diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jarak awal gripper terhadap buah, posisi buah pada tanaman, serta presisi gerakan manipulator saat melakukan penjepitan. Pada jarak yang lebih jauh, manipulator membutuhkan waktu lebih lama untuk melakukan penyesuaian posisi sebelum proses penjepitan dilakukan.

Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa dari sepuluh percobaan pemetikan, hanya dua percobaan yang berhasil menghasilkan buah dalam kondisi baik, sedangkan delapan percobaan lainnya menghasilkan buah yang rusak. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun sistem deteksi objek telah bekerja dengan baik, mekanisme pemetikan masih memerlukan optimalisasi, khususnya pada aspek

desain gripper, kontrol tekanan penjepitan, serta akurasi posisi manipulator agar kerusakan buah dapat diminimalkan.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa jarak gripper terhadap buah berpengaruh terhadap keberhasilan pemetikan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Berdasarkan grafik tersebut, keberhasilan pemetikan terjadi pada jarak 15 cm dan 19 cm, dengan waktu pemetikan masing-masing 45 detik dan 68 detik. Jarak tersebut menunjukkan posisi yang relatif optimal bagi gripper untuk melakukan penjepitan tanpa memberikan tekanan berlebih pada buah.

Sebaliknya, pada jarak yang terlalu dekat maupun terlalu jauh, proses pemetikan cenderung menghasilkan buah yang rusak karena ketidaktepatan posisi gripper atau tekanan penjepitan yang tidak merata. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaturan jarak kerja manipulator merupakan parameter penting dalam sistem pemetikan buah otomatis.



Gambar 8. Grafik Pemetik Buah Stroberi

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa akurasi sistem pemetik buah sangat dipengaruhi oleh koordinasi antara sistem deteksi visual dan mekanisme manipulator. Ketidaksiharian antara posisi objek yang terdeteksi dengan pergerakan manipulator dapat menyebabkan kegagalan pemetikan atau kerusakan pada buah yang dipetik. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut pada algoritma kontrol manipulator serta desain gripper agar sistem pemetik buah dapat bekerja lebih efektif dan meningkatkan tingkat keberhasilan pemetikan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang di peroleh dapat di simpulkan bahwa :

1. Lengan robot yang dirancang telah mampu melakukan proses pemetikan stroberi, namun hasil pengujian menunjukkan masih terdapat buah yang mengalami kerusakan. Hal ini menandakan mekanisme lengan dan *gripper* sudah berfungsi, tetapi perlu penyempurnaan dalam hal kehalusan gerakan, tekanan *gripper*, serta koordinasi saat mendekati buah agar benar-benar mampu memetik tanpa merusak buah.
2. Perancangan sistem penggerak pada robot pemetik buah stroberi yang telah dikembangkan hingga tahap eksperimen menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu berfungsi sesuai dengan kebutuhan dasar pergerakan dalam aktivitas operasional di lahan pertanian. Berdasarkan hasil pengujian awal, sistem penggerak yang dibuat terbukti memiliki stabilitas yang cukup baik, mampu

mempertahankan arah gerak secara tepat, serta menunjukkan kemampuan manuver yang efektif dalam melakukan pendekatan terhadap posisi buah dengan tingkat akurasi yang memadai.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada orang tua dan seluruh saudara-saudari yang telah memberikan dukungan dan biaya selama penyusunan serta pembuatan alat serta kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah menyediakan fasilitas serta menjadi tempat belajar bagi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Bac, E. van Henten, J. Hemming, and Y. Edan, "Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead," *Journal of Field Robotics*, vol. 31, no. 6, pp. 888–911, 2014.
- [2] S. Blackmore, B. Stout, M. Wang, and B. Runov, "Robotic agriculture – The future of agricultural mechanisation?" *5th European Conference on Precision Agriculture*, pp. 621–628, 2005.
- [3] A. Setiawan, "Rancang bangun end-effector pada robot pemetik buah tomat berbasis Raspberry Pi 3 Model B+," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- [4] R. Pratama and D. Kurniawan, "Pemodelan robot pemetik buah kelapa berbasis mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 9, no. 1, pp. 15–22, 2019.
- [5] M. Quigley et al., "ROS: An open-source Robot Operating System," *ICRA Workshop on Open Source Software*, pp. 1–6, 2009.
- [6] J. Redmon and A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, 2018.
- [7] G. Jocher et al., "YOLOv8: Ultralytics object detection model," *Ultralytics Documentation*, 2023.
- [8] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 3rd ed. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015.
- [9] E. R. Davies, *Computer Vision: Principles, Algorithms and Applications*, London, U.K.: Academic Press, 2012.
- [10] Q. Zhang and F. Pierce, *Agricultural Automation: Fundamentals and Practices*, Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2013.