

Development of an iot-based starfruit ripeness detection system using esp32-cam and a weight sensor

Muhammad Havis Hidayat¹, Halim Maulana²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

Email: muhammadhaviis20@gmail.com; halimmaulana@umsu.ac.id

ABSTRAK

Buah belimbing (*Averrhoa carambola* L.) merupakan komoditas hortikultura yang berpotensi dikembangkan untuk pasar ekspor. Namun, proses sortasi pascapanen secara manual berisiko menimbulkan kesalahan dan ketidakkonsistenan dalam menentukan tingkat kematangan dan ukuran buah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi otomatis tingkat kematangan dan ukuran buah belimbing berbasis ESP32-CAM, sensor berat (*load cell* dan HX711), algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN), dan *Internet of Things* (IoT). Sistem menentukan kategori ukuran berdasarkan berat buah sesuai SNI 4491:2009, sedangkan citra buah diproses menggunakan CNN untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan menjadi tiga kategori, yaitu mentah, setengah matang, dan matang sempurna. Hasil klasifikasi dikirim secara *real-time* melalui Telegram. Pengujian terhadap 30 sampel menunjukkan akurasi CNN sebesar 86,6%, sedangkan sensor *load cell* menghasilkan kesalahan pengukuran rata-rata $\pm 1-2\%$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan sortasi berdasarkan tingkat kematangan dan ukuran secara otomatis serta memantau hasil dari jarak jauh. Sistem ini berpotensi meningkatkan konsistensi sortasi dan mendukung pengelolaan mutu buah belimbing sesuai standar.

Kata Kunci: belimbing; esp32-cam; convolutional neural network (cnn); load cell; iot

ABSTRACT

Starfruit (*Averrhoa carambola* L.) is a horticultural commodity with potential for development in export markets. However, manual postharvest sorting may result in errors and inconsistencies in determining fruit ripeness and size. This study aims to develop an automatic system for detecting the ripeness and size of starfruit using an ESP32-CAM, a weight sensor (*load cell* and HX711), a *Convolutional Neural Network* (CNN) algorithm, and the *Internet of Things* (IoT). The system determines the size category based on fruit weight according to SNI 4491:2009, while fruit images are processed using a CNN to classify ripeness into three categories: unripe, partially ripe, and fully ripe. The classification results are transmitted in real time via Telegram. Testing on 30 samples showed that the CNN achieved an accuracy of 86.6%, while the *load cell* sensor produced an average measurement error of approximately 1–2%. These results indicate that the system is capable of automatically sorting starfruit based on ripeness and size while enabling remote monitoring of the results. The system has the potential to improve sorting consistency and support starfruit quality management in accordance with established standards.

Keywords: starfruit; esp32-cam; convolutional neural network (cnn); load cell; internet of things (iot)

Corresponding Author:

Muhammad Havis Hidayat,
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara,
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota
Medan, Sumatera Utara 20238, Indonesia
Email: muhammadhaviis20@gmail.com



1. PENDAHULUAN

Buah belimbing (*Averrhoa carambola* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura tropis Indonesia yang memiliki kandungan nutrisi dan potensi pengembangan pasar, termasuk pasar ekspor.

Belimbing merupakan buah non-klimakterik yang tidak mengalami proses pematangan lanjutan secara signifikan setelah dipanen sehingga ketepatan waktu panen dan proses sortasi menjadi aspek penting dalam menjaga kualitas buah (Sundari et al., 2023). Saat ini, proses sortasi pascapanen masih banyak dilakukan secara manual dengan mengandalkan penilaian visual. Metode tersebut berpotensi menimbulkan subjektivitas dan ketidakkonsistenan dalam menentukan tingkat kematangan dan ukuran buah, terutama ketika dilakukan secara berulang dalam jumlah yang besar. Kondisi tersebut dapat menjadi kendala dalam menghasilkan produk yang seragam sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan, termasuk SNI 4491:2009 yang mengatur persyaratan dan klasifikasi mutu buah belimbing berdasarkan karakteristik tertentu.

Permasalahan dalam proses sortasi juga menjadi perhatian dalam upaya meningkatkan kualitas dan daya saing produk hortikultura. Data produksi dan perdagangan komoditas hortikultura dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk melihat perkembangan produksi dan posisi produk di pasar. Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan teknologi pengolahan citra digital untuk membantu proses identifikasi dan klasifikasi karakteristik buah (Ibnutama et al., 2023; Setiawan et al., 2020). Namun, penerapan sistem berbasis pengolahan citra masih dapat menghadapi kendala dari sisi kebutuhan perangkat keras, lingkungan pengambilan citra, serta biaya implementasi, terutama apabila sistem ditujukan untuk digunakan pada skala usaha kecil.

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem deteksi tingkat kematangan dan ukuran buah belimbing dengan memanfaatkan perangkat dan metode yang dapat diintegrasikan dalam satu sistem. Kamera ESP32-CAM digunakan untuk memperoleh citra buah, sedangkan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan berdasarkan karakteristik visual. Sensor berat (*load cell*) digunakan untuk mengukur berat buah sebagai dasar dalam menentukan kategori ukuran sesuai dengan standar yang digunakan. Seluruh proses kemudian diintegrasikan dengan konsep *Internet of Things* (IoT) melalui aplikasi Telegram sehingga hasil deteksi dapat dikirim dan dipantau secara *real-time*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem otomatis yang dapat membantu proses sortasi buah belimbing berdasarkan tingkat kematangan dan ukuran. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu meningkatkan konsistensi proses sortasi, mengurangi ketergantungan pada penilaian visual secara manual, serta mendukung pengelolaan mutu buah belimbing untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik maupun ekspor.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja prototipe sistem klasifikasi otomatis buah belimbing. Tahapan penelitian disusun secara sistematis, mulai dari perancangan sistem, implementasi, hingga pengujian dan evaluasi kinerja sistem.

A. Perancangan Sistem

Arsitektur sistem dirancang dalam tiga bagian utama, yaitu masukan (*input*), proses, dan keluaran (*output*).

1) Perangkat keras

Komponen masukan terdiri atas sensor berat (*load cell*) yang terhubung dengan modul HX711 untuk mengukur massa buah serta modul ESP32-CAM yang dilengkapi kamera OV2640 untuk menangkap citra permukaan buah. Unit pemrosesan utama menggunakan ESP32 Dev Module. Komponen keluaran terdiri atas motor DC sebagai penggerak konveyor, motor servo SG90 sebagai aktuator penyortir, serta aplikasi Telegram sebagai media penyampaian hasil klasifikasi dan informasi sistem.

2) Perangkat lunak

Pemrograman mikrokontroler dilakukan menggunakan Arduino IDE. Model klasifikasi citra dikembangkan menggunakan algoritma *Convolutional Neural Network* (CNN) melalui platform *machine learning* berbasis *cloud*, yaitu Edge Impulse Studio. Model yang telah dilatih selanjutnya digunakan pada perangkat ESP32-CAM untuk melakukan klasifikasi citra secara langsung.

B. Implementasi dan Prosedur

1) Pelatihan Model CNN

Dataset citra buah belimbing dikumpulkan menggunakan ESP32-CAM dan dikelompokkan ke dalam tiga kelas tingkat kematangan, yaitu mentah, setengah matang, dan matang sempurna. Dataset tersebut kemudian digunakan untuk melatih model CNN melalui Edge Impulse Studio. Setelah model memenuhi kriteria kinerja yang ditetapkan, model dikonversi dan diimplementasikan pada firmware ESP32-CAM untuk digunakan dalam proses klasifikasi.

2) Alur Kerja Sistem

Proses sistem diawali dengan meletakkan buah belimbing pada *load cell* untuk melakukan pengukuran berat. Setelah proses penimbangan selesai, buah dipindahkan oleh mekanisme servo menuju konveyor. Sensor inframerah digunakan untuk mendeteksi keberadaan buah pada posisi pengambilan citra. Ketika buah terdeteksi, konveyor dihentikan sementara agar ESP32-CAM dapat menangkap citra buah.

Citra yang diperoleh kemudian diproses menggunakan model CNN pada ESP32-CAM untuk menentukan tingkat kematangan buah. Hasil klasifikasi tingkat kematangan dan data berat selanjutnya diproses oleh ESP32 Dev Module untuk menentukan kategori akhir berdasarkan tingkat kematangan dan kode ukuran sesuai SNI 4491:2009. Setelah kategori ditentukan, motor servo mengarahkan buah menuju wadah penyortiran yang sesuai. Hasil klasifikasi dan informasi berat kemudian dikirimkan melalui Telegram sebagai notifikasi kepada pengguna.

C. Pengujian dan Evaluasi

Pengujian sistem dilakukan menggunakan 30 sampel buah belimbing dengan variasi tingkat kematangan dan ukuran. Evaluasi kinerja sistem dilakukan berdasarkan tiga parameter utama.

1) Akurasi klasifikasi tingkat kematangan menggunakan CNN

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi yang dihasilkan oleh sistem dengan label aktual (*ground truth*) yang telah ditentukan berdasarkan hasil pengamatan dan pelabelan manual. Hasil perbandingan digunakan untuk menghitung tingkat akurasi model dalam mengklasifikasikan buah ke dalam tiga kategori kematangan, yaitu mentah, setengah matang, dan matang sempurna.

2) Akurasi pengukuran berat load cell

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran berat yang diperoleh dari sensor *load cell* dengan hasil pengukuran menggunakan timbangan digital sebagai alat referensi. Perbandingan tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian sensor dalam mengukur berat buah belimbing.

3) Pengujian integrasi sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dalam bekerja secara terintegrasi sesuai dengan alur sistem yang dirancang. Pengujian mencakup proses penimbangan buah, pengambilan citra, klasifikasi tingkat kematangan, penentuan kategori ukuran, proses penyortiran, serta pengiriman hasil melalui Telegram.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe sistem klasifikasi buah belimbing berhasil diimplementasikan dan diuji sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Sistem dapat menjalankan proses secara terintegrasi, mulai dari pengukuran berat, pengambilan citra, klasifikasi tingkat kematangan, hingga penyortiran buah. Implementasi fisik sistem terdiri atas konveyor miniatur, stasiun penimbangan menggunakan *load cell*, serta kotak tertutup sebagai area pengambilan citra. Kotak tertutup digunakan untuk membantu menjaga kondisi pencahayaan selama proses pengambilan citra agar lebih konsisten.

A. Hasil Pengujian Akurasi Klasifikasi Kematangan Menggunakan CNN

Pengujian model CNN dilakukan terhadap 30 sampel buah belimbing yang terdiri atas tiga kategori tingkat kematangan, yaitu mentah, setengah matang, dan matang sempurna, dengan masing-masing kategori terdiri atas 10 sampel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model CNN memperoleh akurasi keseluruhan sebesar 86,6%. Rincian hasil klasifikasi pada setiap kategori adalah sebagai berikut:

1) Mentah

Model memperoleh akurasi sebesar 90%, dengan 9 dari 10 sampel berhasil diklasifikasikan dengan benar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik visual buah dengan dominasi warna hijau dapat dikenali oleh model pada sebagian besar sampel.

2) Setengah Matang

Model memperoleh akurasi sebesar 80%, dengan 8 dari 10 sampel berhasil diklasifikasikan dengan benar. Kategori ini menghasilkan tingkat akurasi terendah dibandingkan dengan dua kategori lainnya. Dua sampel mengalami kesalahan klasifikasi.

3) Matang Sempurna

Model memperoleh akurasi sebesar 90%, dengan 9 dari 10 sampel berhasil diklasifikasikan dengan benar. Karakteristik warna kuning pada sebagian besar sampel dapat dikenali oleh model sehingga menghasilkan tingkat klasifikasi yang relatif lebih tinggi.

Kesalahan klasifikasi paling banyak ditemukan pada kategori setengah matang. Kondisi tersebut dapat berkaitan dengan karakteristik visual buah yang berada pada tahap transisi warna antara hijau dan kuning. Kemiripan karakteristik visual tersebut dapat menyebabkan citra buah setengah matang memiliki pola yang menyerupai kelas mentah maupun matang sempurna. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik visual pada fase transisi kematangan menjadi salah satu tantangan dalam proses klasifikasi. Penambahan jumlah dan

keragaman dataset, termasuk variasi warna, pencahayaan, dan kondisi permukaan buah, dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kemampuan model dalam membedakan kategori kematangan.



Gambar 1. Prototipe Sistem Sortir Otomatis

B. Hasil Uji Ketelitian Berat dengan Load Cell

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *load cell* dapat melakukan pengukuran berat buah dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar $\pm 1-2\%$ dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan timbangan digital sebagai alat referensi. Nilai kesalahan tersebut menunjukkan adanya perbedaan hasil pengukuran antara sensor dan alat referensi pada sampel yang diuji. Hasil pengukuran berat selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan kategori ukuran buah berdasarkan empat kategori berat yang ditetapkan dalam SNI 4491:2009. Dengan demikian, penggunaan sensor *load cell* dalam sistem mendukung proses klasifikasi ukuran buah berdasarkan parameter berat.

Tabel 1. Nilai Akurasi Load Cell

No	Berat Manual (g)	Berat Sensor (g)	Selisih (g)	Error (%)
1	120	122	2	1,6%
2	200	197	3	1,5%
3	240	238	2	0,8%
4	260	264	4	1,5%
5	180	183	3	1,7%

C. Hasil Uji Integrasi dan Pembahasan

Pada pengujian integrasi sistem secara keseluruhan, sebanyak 26 dari 30 sampel atau 86,6% berhasil diproses dan disortir sesuai dengan kategori yang ditentukan. Sementara itu, empat sampel mengalami ketidaksesuaian hasil sortasi. Kondisi tersebut berkaitan dengan kesalahan klasifikasi CNN dan faktor pada proses pengambilan citra. Berdasarkan hasil pengamatan, terdapat dua faktor yang dapat memengaruhi hasil klasifikasi, yaitu pencahayaan yang kurang konsisten pada area pengambilan citra sehingga dapat memengaruhi karakteristik warna yang ditangkap kamera, serta posisi buah yang sedikit miring pada konveyor sehingga bagian buah yang tertangkap kamera tidak selalu representatif terhadap keseluruhan permukaan buah.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan proses sortasi masih dipengaruhi oleh kondisi pengambilan citra dan kemampuan model dalam membedakan karakteristik visual setiap tingkat kematangan. Penelitian terdahulu yang menggunakan metode ekstraksi fitur warna, seperti HSI dengan akurasi 85% dan CMYK dengan akurasi 86,66%, menggunakan karakteristik warna sebagai dasar dalam proses klasifikasi. Sementara itu, pendekatan CNN yang digunakan dalam penelitian ini melakukan pembelajaran fitur secara otomatis dari citra yang digunakan dalam proses pelatihan. Perbedaan pendekatan tersebut menunjukkan bahwa CNN tidak memerlukan proses penentuan fitur warna secara manual, meskipun kinerjanya tetap dipengaruhi oleh kualitas dan keragaman dataset serta kondisi pengambilan citra.

Integrasi sistem dengan platform IoT melalui Telegram juga berhasil dijalankan selama pengujian. Hasil klasifikasi yang meliputi tingkat kematangan, nilai prediksi, berat buah, dan kode ukuran berdasarkan SNI dapat dikirimkan melalui Telegram secara *real-time*. Fitur tersebut memungkinkan

Tabel 2. Hasil Uji Integritas Sistem

Sampel	Ground Truth	Hasil CNN	Berat (g)	Kode Ukuran	Hasil Sortir	Notifikasi Telegram	Status
1	Mentah	Mentah	120	Kode 4	Sesuai	Terkirim	Benar
2	Matang	Matang	245	Kode 2	Sesuai	Terkirim	Benar
3	Setengah	Mentah	180	Kode 3	Salah	Terkirim	Salah
4	Mentah	Matang	270	Kode 1	Sesuai	Terkirim	Benar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi tingkat kematangan dan ukuran buah belimbing berbasis ESP32-CAM, CNN, dan sensor berat berhasil dikembangkan menjadi prototipe yang dapat menjalankan proses deteksi dan sortasi sesuai dengan rancangan. Model CNN memperoleh akurasi klasifikasi tingkat kematangan sebesar 86,6%, sedangkan sensor *load cell* menghasilkan kesalahan pengukuran rata-rata sebesar $\pm 1-2\%$ dibandingkan dengan timbangan digital sebagai alat referensi. Pada pengujian integrasi, sebanyak 26 dari 30 sampel atau 86,6% berhasil diproses dan disortir sesuai dengan kategori yang ditentukan. Integrasi dengan platform IoT melalui Telegram juga dapat digunakan untuk mengirimkan informasi hasil sortasi secara *real-time*, meliputi tingkat kematangan, nilai prediksi, berat buah, dan kode ukuran berdasarkan SNI 4491:2009. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat digunakan sebagai prototipe untuk membantu proses klasifikasi dan sortasi buah belimbing berdasarkan tingkat kematangan dan ukuran.

Untuk pengembangan selanjutnya, beberapa aspek sistem dapat ditingkatkan untuk memperoleh kinerja yang lebih konsisten. Pertama, jumlah dan variasi dataset citra perlu diperluas, terutama pada kategori setengah matang yang memiliki karakteristik visual lebih sulit dibedakan. Teknik *data augmentation* juga dapat diterapkan untuk menambah variasi data pelatihan dan membantu model menghadapi variasi karakteristik citra. Kedua, desain mekanik konveyor dapat disempurnakan agar posisi buah lebih stabil ketika proses pengambilan citra berlangsung. Sistem pencahayaan internal yang terkontrol, misalnya menggunakan lampu LED, juga dapat diterapkan untuk mengurangi pengaruh perubahan kondisi pencahayaan terhadap hasil klasifikasi. Ketiga, antarmuka pemantauan dapat dikembangkan menjadi *dashboard* berbasis web atau aplikasi seluler yang menyediakan visualisasi data, riwayat hasil sortasi, dan statistik kinerja sistem sehingga informasi hasil pengujian dan proses sortasi dapat dipantau secara lebih komprehensif.

REFERENSI

- Benkeblia, N. (2018). Unlocking the full potential of carambola (*Averrhoa carambola*) as a food source: Botany, growing, physiology and postharvest technology. In *Agriculture, food, and food security: Some contemporary global issues* (pp. 131–158). Nova Science Publishers.
- Bhaskar, B., & Shantaram, M. (2013). Morphological and biochemical characteristics of *Averrhoa* fruits. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences*, 3(3), 924.
- Fan, Y., Sahu, S. K., Yang, T., Mu, W., Wei, J., Cheng, L., . . . Liu, H. (2020). Dissecting the genome of star fruit (*Averrhoa carambola* L.). *Horticulture Research*, 7. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0306-4>
- Hetharua, A. D., Sumarno, S., Gunawan, I., Hartama, D., & Kirana, I. O. (2021). Alat penyortir buah tomat berdasarkan warna berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 1(2), 119–130. <https://doi.org/10.54082/jupin.18>
- Ibnutama, K., Suryanata, M. G., Putri, R. O., & Al Hafiz, A. (2023). Seleksi tingkat kematangan citra buah belimbing menggunakan ruang warna CMYK. *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, 22(2), 302–310.
- Imaduddin, A. H., & Susanto, W. H. (2017). Pengaruh tingkat kematangan buah belimbing (*Averrhoa carambola* L.) dan proporsi penambahan gula terhadap karakteristik fisikokimia dan organoleptik lempok belimbing. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 5(2). <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/151451/>
- Laili, N., Supriyanto, S., & Saraswati, M. (2023). Uji aktivitas ekstrak daun belimbing manis (*Averrhoa carambola* L.) terhadap penyembuhan luka sayat pada kelinci New Zealand. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 5(5), 731–739. <https://doi.org/10.30872/jsk.v5i5.585>
- Maliki, M. S. A., & Irawan, D. (2024). Penyortiran kematangan buah dengan indikator warna menggunakan metode backpropagation berbasis IoT. *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, 13(2), 341–348. <https://doi.org/10.30591/smartcomp.v13i2.6415>
- Mampeu, C. Z., Agbo, A. E., Desfontis, J.-C., & Soro, D. (2024). Impact of season and maturity stage on biochemical parameters of *Averrhoa carambola* fruits. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 24(1), 1862–1870. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.24.1.3153>
- Sani, R. A., & Maha, A. I. (2018). Konstruksi timbangan digital menggunakan load cell berbasis Arduino Uno dengan tampilan LCD (liquid crystal display). *Einstein E-Journal*, 5(2), 16–19. <https://doi.org/10.24114/einstein.v5i2.11837>
- Setiawan, M. D. C., Farida, I. N., & Niswatin, R. K. (2020). Klasifikasi mutu buah belimbing (*Averrhoa carambola* L.) menggunakan metode GLCM (gray level co-occurrence matrix). *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 4(1), 93–100. <https://doi.org/10.29407/inotek.v4i1.179>
- Sundari, S., Siburian, I. N., & Wulan, N. (2023). Mendeteksi tingkat kematangan belimbing berdasarkan fitur warna menggunakan transformasi ruang warna HSI. *Algoritma: Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika*, 7(1). <https://doi.org/10.30829/algoritma.v7i1.15263>