

RANCANG BANGUN SISTEM SORTIR BUAH JERUK BERBASIS CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK DENGAN MONITORING INTERNET OF THINGS

Oleh: Andhika Surya Syahputra¹, Sigit Triwibowo²

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Elektronika,

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

E-mail : ¹dhika13bugaji@gmail.com; ²sigitkawe3@gmail.com;

Abstrak

Penyortiran buah merupakan tahap penting dalam pascapanen karena menentukan mutu, konsistensi, dan nilai jual produk. Pada industri kecil dan menengah (IKM), proses ini umumnya masih dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu lebih lama, kurang konsisten, dan rentan terhadap kesalahan manusia. Penelitian ini merancang sistem sortir otomatis buah jeruk berbasis Convolutional Neural Network (CNN) dan Internet of Things (IoT) menggunakan Webcam. Sistem melakukan akuisisi citra secara real-time, mengklasifikasikan tingkat kematangan berdasarkan warna dan ukuran melalui model Convolutional Neural Network (CNN) terlatih, dan menggerakkan motor servo untuk menyortir buah secara otomatis. Hasil klasifikasi dan pemantauan ditampilkan melalui dashboard Web yang dapat diakses jarak jauh. Sistem yang dirancang memiliki akurasi tinggi, biaya implementasi rendah, serta kemudahan operasional, sehingga berpotensi mendukung IKM dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas penyortiran buah jeruk.

Kata kunci: Sortir Jeruk, Convolutional Neural Network, ESP32, Internet of Things, Webcam

Abstract

Fruit sorting is a crucial post-harvest stage that determines the quality, consistency, and market value of agricultural products, including citrus fruits. In small and medium industries (SMEs), this process is still commonly performed manually, resulting in longer processing time, inconsistent classification, and a high potential for human error. This study develops an automated orange sorting system based on Convolutional Neural Network (CNN) and Internet of Things (IoT) technology using an Webcam. The system performs real-time image acquisition, classifies fruit maturity levels based on color and size using a trained Convolutional Neural Network (CNN) model, and actuates a servo motor to automatically direct the fruits to the appropriate category. Classification results and system monitoring are displayed through a Web IoT dashboard accessible remotely. The proposed system offers high accuracy, fast response time, low implementation cost, and operational simplicity, making it a practical and effective technological solution for SMEs to improve the efficiency and quality of citrus fruit sorting.

Keywords: Citrus Sorting, Convolutional Neural Network, ESP32, Internet of Things, Webcam

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil buah jeruk dalam jumlah besar, sehingga proses pascapanen seperti penyortiran menjadi tahap penting dalam menjaga mutu dan meningkatkan daya saing produk di pasar. Penyortiran bertujuan untuk mengelompokkan buah berdasarkan tingkat kematangan dan kondisi fisik agar kualitas produk lebih seragam dan bernilai jual lebih tinggi. (Lestari & Ramadhan, 2020)

Pada industri kecil dan menengah (IKM), proses penyortiran buah jeruk umumnya masih dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengamatan visual manusia. Metode ini memerlukan waktu yang relatif lama, bergantung pada subjektivitas operator, serta berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan hasil sortir (Rahman & Yuliana, 2022).

Perkembangan teknologi pengolahan citra dan kecerdasan buatan memungkinkan proses penyortiran dilakukan secara otomatis dengan

tingkat konsistensi yang lebih baik. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam klasifikasi citra adalah *Convolutional Neural Network* (CNN), karena mampu mengekstraksi fitur visual secara otomatis dan menghasilkan akurasi tinggi pada berbagai aplikasi pengenalan objek (Rawat & Wang, 2017).

Selain itu, integrasi sistem sortir dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan hasil klasifikasi dan proses penyortiran dapat dipantau secara *real-time* dan jarak jauh. Penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sektor pertanian dan agroindustri dinilai mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mempermudah pengambilan keputusan berbasis data (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini merancang sistem sortir buah jeruk otomatis berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) yang terintegrasi dengan *Internet of Things* (IoT) sebagai solusi praktis dan ekonomis bagi industri kecil dan menengah.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimental yang bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, serta menguji kinerja sistem sortir buah jeruk otomatis berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Internet of Things* (IoT). Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem, pengumpulan dataset citra buah jeruk, pelatihan model CNN, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta evaluasi kinerja sistem secara keseluruhan..

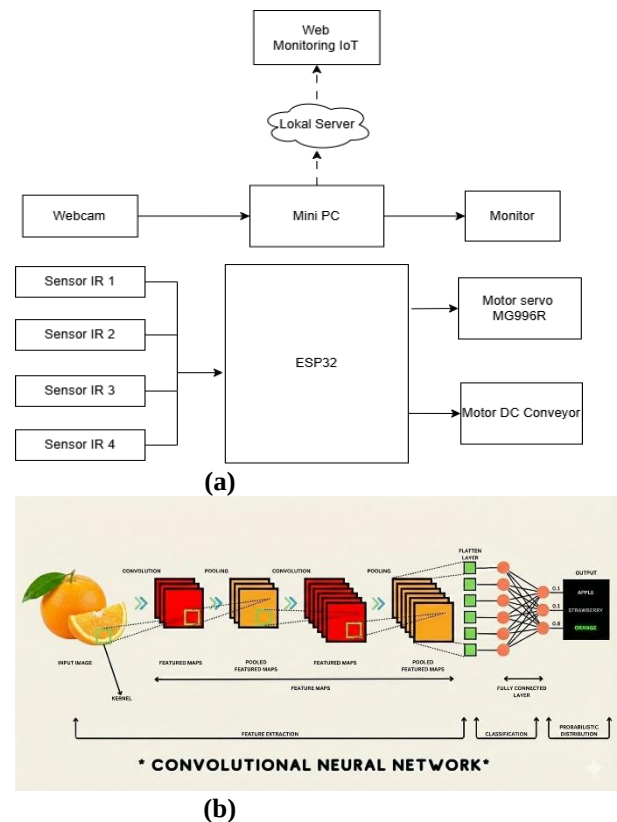
2.1 Rancangan Sistem

Sistem sortir buah jeruk dirancang dengan tiga bagian utama, yaitu **masukan**, **pemrosesan**, dan **keluaran**. Bagian masukan terdiri dari webcam sebagai sensor visual untuk melakukan akuisisi citra buah jeruk secara real-time serta sensor inframerah yang berfungsi sebagai pendeteksi keberadaan dan penghitung jumlah buah pada konveyor.

Bagian pemrosesan dilakukan oleh Mini PC yang menjalankan model CNN untuk

mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jeruk. Hasil klasifikasi kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Bagian keluaran terdiri dari motor servo yang berfungsi sebagai pengarah buah hasil sortir sesuai kategori serta motor DC sebagai penggerak konveyor.

Rancangan sistem dan arsitektur CNN yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1.(a) Diagram Blok Sistem; (b) Arsitektur CNN

Gambar 1(b) menunjukkan arsitektur *Convolutional Neural Network* (CNN) yang digunakan dalam penelitian ini. Model CNN terdiri dari beberapa lapisan konvolusi dan *pooling* yang berfungsi untuk mengekstraksi fitur visual citra buah jeruk, seperti warna dan tekstur. Hasil ekstraksi fitur selanjutnya diproses pada lapisan *fully connected* untuk menentukan kelas tingkat kematangan buah jeruk, yaitu mentah,

matang, dan busuk. Arsitektur ini dirancang untuk menghasilkan model yang cukup ringan sehingga dapat digunakan pada sistem sortir buah jeruk berbasis *real-time*.

2.2 Dataset dan Pelatihan Model Convolutional Neural Network (CNN)

Dataset yang digunakan pada penelitian ini berupa citra buah jeruk yang dikelompokkan ke dalam tiga kelas, yaitu jeruk mentah, jeruk matang, dan jeruk busuk. Data citra diperoleh melalui proses pengambilan gambar menggunakan webcam dengan variasi posisi dan kondisi pencahayaan untuk meningkatkan keragaman data. Dataset selanjutnya dibagi menjadi data latih dan data uji.

Pelatihan model CNN dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan framework TensorFlow/Keras. Evaluasi kinerja model selama proses pelatihan dilakukan dengan mengamati nilai akurasi dan *loss* pada setiap epoch, baik pada data pelatihan maupun data validasi. Ringkasan hasil pelatihan model CNN ditunjukkan pada Tabel 1.

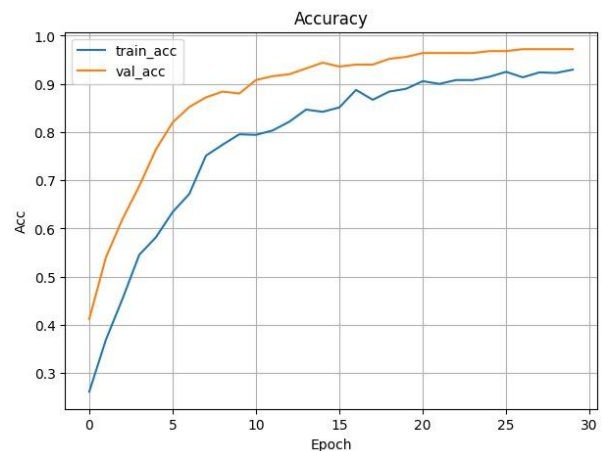
Tabel 1. Hasil Pelatihan Model *Convolutional Neural Network* (CNN) per Epoch

Epoch	Accuracy Training (%)	Loss Training	Accuracy Validasi (%)	Loss Validasi
10	85,2	0,42	83,6	0,47
20	89,4	0,31	88,1	0,34
30	91,8	0,25	90,6	0,28
40	93,0	0,21	92,1	0,24
50	94,2	0,18	93,0	0,21

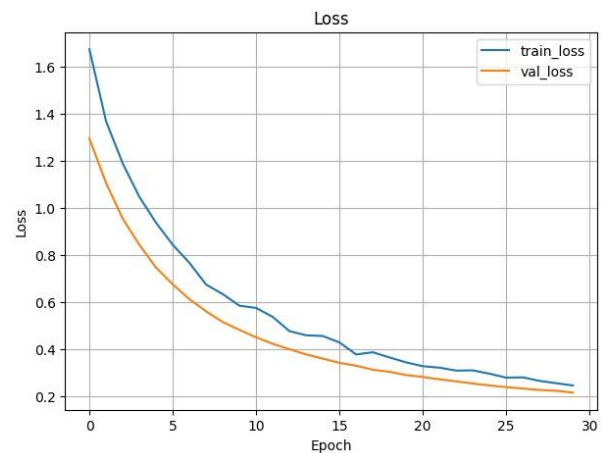
Berdasarkan Tabel 1, peningkatan jumlah epoch diikuti oleh kenaikan nilai akurasi serta penurunan nilai *loss* pada data pelatihan dan validasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembelajaran model CNN berjalan secara stabil tanpa indikasi *overfitting* yang signifikan. Model hasil pelatihan selanjutnya digunakan pada tahap pengujian sistem yang dibahas pada Bab 3.

2.3 Visualisasi Proses Pelatihan Model

Untuk mempermudah analisis kinerja model CNN selama proses pelatihan, digunakan grafik akurasi dan *loss* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2.(a) Grafik Akurasi Selama Pelatihan Model; (b) Grafik *Loss* Selama Pelatihan Model

Grafik akurasi menunjukkan peningkatan performa model seiring bertambahnya epoch, sedangkan grafik *loss* menunjukkan tren penurunan nilai kesalahan. Pola ini mengindikasikan bahwa model CNN mampu mempelajari fitur visual citra buah jeruk secara efektif dan konsisten.

3. Hasil Dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengujian dan pembahasan terhadap sistem sortir buah jeruk berbasis *Convolutional Neural Network* (CNN) yang telah dirancang. Pengujian meliputi hasil klasifikasi tingkat kematangan buah jeruk, analisis kesalahan klasifikasi, serta evaluasi kinerja sistem sortir otomatis dan monitoring *Internet of Things* (IoT).

3.1 Hasil Pengujian Klasifikasi Model CNN

Pengujian klasifikasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan model CNN dalam mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jeruk. Pengujian menggunakan data uji yang tidak dilibatkan dalam proses pelatihan. Data uji terdiri dari tiga kelas, yaitu jeruk mentah, jeruk matang, dan jeruk busuk.

Tabel 3. Hasil Pengujian Klasifikasi Model

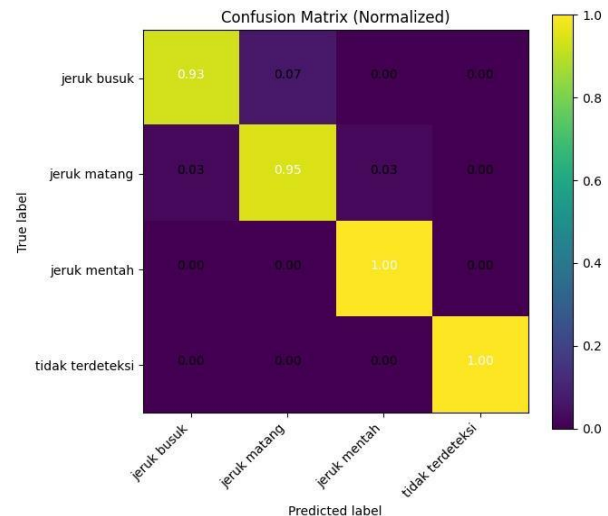
Kelas Jeruk	Jumlah Data Uji	Prediksi Benar	Akurasi (%)
Mentah	60	55	91,7
Matang	60	57	95,0
Busuk	60	54	90,0
Rata-rata	180	—	92,2

Berdasarkan Tabel 3, model CNN mampu mengklasifikasikan buah jeruk dengan akurasi rata-rata sebesar 92,2%. Kelas jeruk matang memiliki nilai akurasi tertinggi, sedangkan kelas jeruk busuk memiliki akurasi terendah. Perbedaan ini disebabkan oleh variasi

karakteristik visual pada permukaan buah jeruk, khususnya perbedaan warna dan tingkat kerusakan yang tidak selalu seragam.

3.2 Analisis *Confusion Matrix*

Untuk mengetahui distribusi kesalahan klasifikasi pada setiap kelas, dilakukan analisis menggunakan *confusion matrix* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Confusion Matrix*

Berdasarkan *confusion matrix*, sebagian besar kesalahan klasifikasi terjadi antara kelas jeruk mentah dan jeruk matang. Hal ini disebabkan oleh kemiripan warna kulit buah pada kondisi pencahayaan tertentu. Meskipun demikian, jumlah kesalahan klasifikasi relatif kecil dibandingkan dengan jumlah prediksi benar, sehingga menunjukkan bahwa model CNN telah mampu mengenali pola visual utama buah jeruk dengan baik.

3.3 Hasil Pengujian Sistem Sortir Otomatis

Berdasarkan *confusion matrix*, sebagian besar kesalahan klasifikasi terjadi antara kelas jeruk mentah dan jeruk matang. Hal ini disebabkan oleh kemiripan warna kulit buah pada kondisi pencahayaan tertentu. Meskipun demikian, jumlah kesalahan klasifikasi relatif kecil dibandingkan dengan jumlah prediksi benar, sehingga menunjukkan bahwa model

CNN telah mampu mengenali pola visual utama buah jeruk dengan baik.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Sortir Buah Jeruk

Parameter Uji	Hasil Pengujian
Deteksi objek	Berhasil
Klasifikasi CNN	Berhasil
Pergerakan motor servo	Sesuai hasil klasifikasi
Pergerakan konveyor	Stabil
Monitoring IoT	Real-time
Delay sistem	$\pm 1-2$ detik

Berdasarkan Tabel 4, sistem sortir buah jeruk mampu bekerja secara terintegrasi dan responsif. Motor servo dapat mengarahkan buah sesuai dengan hasil klasifikasi CNN, sementara motor DC mampu menggerakkan konveyor secara stabil. Sistem monitoring IoT juga dapat menampilkan data hasil sortir secara *real-time* sehingga memudahkan pengawasan proses penyortiran.

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian klasifikasi, model CNN mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jeruk dengan akurasi rata-rata sebesar 92,2%. Nilai akurasi tersebut menunjukkan bahwa CNN efektif digunakan dalam pengenalan objek berbasis citra digital, khususnya untuk klasifikasi buah berdasarkan karakteristik visual seperti warna dan tekstur.

Kesalahan klasifikasi yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh kemiripan warna antara jeruk mentah dan jeruk matang pada kondisi pencahayaan tertentu. Fenomena serupa juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa variasi pencahayaan dan karakteristik permukaan buah dapat memengaruhi akurasi klasifikasi berbasis citra (Rawat & Wang, 2017).

Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa integrasi antara model CNN, mikrokontroler ESP32, dan sistem aktuator mampu bekerja secara sinkron dan real-time. Sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses sortir dipantau dari jarak jauh, sehingga meningkatkan efisiensi pengawasan dan mendukung penerapan sistem pada industri kecil dan menengah. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang

menyebutkan bahwa penerapan IoT pada sistem otomasi pertanian dapat meningkatkan efektivitas dan fleksibilitas operasional (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018).

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa penerapan *Convolutional Neural Network* (CNN) yang terintegrasi dengan sistem sortir dan monitoring *Internet of Things* (IoT) mampu meningkatkan efektivitas proses penyortiran buah jeruk secara otomatis. Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Model CNN yang dilatih menggunakan dataset citra buah jeruk mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan buah jeruk ke dalam tiga kategori, yaitu mentah, matang, dan busuk, dengan akurasi rata-rata sebesar 92,2%.

b. Kesalahan klasifikasi sebagian besar terjadi pada kelas jeruk mentah dan jeruk matang akibat kemiripan karakteristik visual, khususnya warna kulit buah pada kondisi pencahayaan tertentu.

c. Integrasi model CNN dengan sistem sortir otomatis berbasis ESP32 serta monitoring IoT memungkinkan proses penyortiran berjalan secara real-time, konsisten, dan dapat dipantau dari jarak jauh, sehingga mendukung peningkatan efisiensi operasional pada industri kecil dan menengah.

DAFTAR PUSTAKA

- Albawi, S., Mohammed, T. A., & Al-Zawi, S. (2017). Understanding of a convolutional neural network. *Proceedings of the 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, 1–6.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Produksi Tanaman Hortikultura Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

- Chen, Y., Zhang, X., & Li, J. (2023). Automated fruit grading based on computer vision and deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, 203, 107476.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70–90.
- Lestari, D., & Ramadhan, A. (2020). Pengaruh kualitas pascapanen terhadap nilai jual buah jeruk. *Jurnal Agribisnis*, 8(2), 88–95.
- Rahman, A., & Yuliana, E. (2022). Tantangan implementasi otomasi pada industri kecil dan menengah. *Jurnal Industri Kreatif*, 6(1), 14–22.
- Rawat, W., & Wang, Z. (2017). Deep convolutional neural networks for image classification: A comprehensive review. *Neural Computation*, 29(9), 2352–2449.
- Al-Turjman, F., & Zahmatkesh, H. (2020). An overview of security and privacy in smart agriculture. *IEEE Sensors Journal*, 20(6), 3082–3091.