

ARTICLE

Sistem Deteksi Dini Berbasis Artificial Intelligence Sebagai Solusi Inovatif Budidaya Benur Vaname

Early Detection System Based on Artificial Intelligence as an Innovative Solution for Vaname Fry Farming

Iqbal Fikhriansyah Romadhona,¹ Tri Farin Meydiantika Anggia Putri,² Yovita Sari Cahyaningtyas,³ Bimo Rahmad Diansyah,⁴ dan Muhammad Hafidh Firmansyah⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Komputer, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia

*Penulis Korespondensi: tri.farin.99@gmail.com

(Disubmit 22-11-23; Diterima 23-3-24; Dipublikasikan online pada 30-3-24)

Abstrak

Indonesia memiliki potensi besar dalam sektor perikanan, terutama dalam budidaya udang vaname yang berperan penting dalam ekspor perikanan. Salah satu tantangan utama dalam budidaya udang adalah ketersediaan benur yang berkualitas. Saat ini, proses penghitungan benur dilakukan secara manual, yang kurang efisien dan akurat. Untuk meningkatkan efisiensi, peneliti mengembangkan teknologi citra digital dalam bentuk aplikasi yang didukung kesederhanaan buatan (AI) yang menjadi solusi dalam otomatisasi penghitungan benur, deteksi kesehatan, dan deteksi dini penyakit. Metode yang digunakan melibatkan Convolutional Neural Network (CNN) untuk analisis gambar dan Long Short-Term Memory (LSTM) untuk pemrosesan data sekuensial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi CNN dan LSTM mampu mengklasifikasikan kondisi benur dengan akurasi 85% dalam waktu kurang dari 5 menit, dibandingkan metode manual yang memakan waktu lebih lama. Aplikasi “VannameiAI” yang dikembangkan memudahkan petambak dalam menghitung jumlah benur, mendeteksi kesehatan benur sesuai dengan standar benur sebelum tebar, dan menyimpan data hasil panen. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi meningkatkan efisiensi dan produktivitas budidaya udang di Indonesia.

Kata kunci: Udang Vaname; Benur; Kecerdasan Buatan; Teknologi Citra Digital; Deteksi Dini

Abstract

Indonesia has great potential in the fisheries sector, especially in vaname shrimp farming which plays an important role in fisheries exports. One of the main challenges in shrimps farming is the availability of quality fry. Cuurrently, the process of counting fry is done manually, which is less efficient and accurate. To improve efficiency, researchers developed digital image technology in the form of an artificial intelligence (AI)-supported application that is a solution in the automation of fry counting, health detection, and early detection of disease. The method used involves Convolutional Neural Network (CNN) for image analysis and Long Short-Term Memory (LSTM) for sequential data processing. The result showed that the integration of CNN and LSTM was able to classify the condition of the fry with 85% accuracy in less than 5 minutes, compared to the manual method which took longer. The developed ‘VannameiAI’ application facilitates farmers in counting the number of fry, detecting the health of fry according to the fry standard before stocking, and storing harvest data. Thus, this technology has the potential to increase the efficiency and productivity of shrimp farming in Indonesia.

Keywords: Vannamei Shrimp; Fry; Artificial Intelligence; Digital Image Technology; Early Detection

1. Pendahuluan

Sebagai negara kepulauan, Indonesia dianugerahi kekayaan sumber daya laut dan perikanan yang melimpah, yang memberikan kontribusi signifikan terhadap pemasukan negara [1]. Di antaranya yaitu udang vaname yang menjadi salah satu komoditas unggulan yang dapat ditemukan di hampir seluruh perairan Indonesia. Dalam sektor perikanan, pengembangan udang vaname dinilai memiliki keunggulan yang signifikan dibandingkan jenis udang lainnya [2]. Saat ini Indonesia sebagai salah satu pemain utama dalam perdagangan udang global, menempati peringkat 5 di antara negara-negara pengekspor udang terbesar dunia, di bawah Ekuador, India, Vietnam, dan Argentina. Pengembangan tambak untuk budidaya udang dan ikan di kawasan pesisir tidak hanya membuka peluang kerja bagi penduduk setempat, tetapi juga berkontribusi dalam meningkatkan pendapatan devisa negara [3]. Dalam periode 2012-2018, udang menyumbang rata-rata 36,27% dari total nilai ekspor perikanan Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa udang adalah komoditas ekspor perikanan yang sangat penting dan berkontribusi besar terhadap kinerja ekspor sektor perikanan Indonesia [4]. Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), budidaya udang vaname telah berkembang menjadi sektor unggulan dalam industri perikanan budidaya Indonesia. Komoditas ini ditetapkan sebagai fokus

utama dalam pengembangan akuakultur nasional untuk mendorong pertumbuhan ekonomi negara [5]. Hal ini didukung oleh melimpahnya sumber daya alam di Indonesia serta tingginya permintaan pasar, baik dari konsumen domestik maupun internasional yang dapat memberikan peluang besar untuk mengembangkan budidaya udang secara optimal. Namun, salah satu tantangan utama yang dihadapi dalam budidaya udang adalah ketersediaan benur secara kontinu dan berkualitas yang sangat penting untuk meningkatkan produktivitas udang. Proses pembenihan udang, khususnya dalam penghitungan benur, merupakan tahap penting yang mempengaruhi keseluruhan produksi udang. Saat ini, proses penghitungan benur umumnya masih dilakukan secara manual dengan metode sampling yaitu menghitung benur satu per satu dibantu dengan kalkulator atau alat bantu hitung lainnya [6]. Metode ini melibatkan pengambilan sampel benur dari wadah atau kantong, yang seringkali memakan waktu dan tenaga yang signifikan serta menghasilkan hasil yang kurang akurat. Dalam rangka meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam penghitungan benur, diperlukan pengembangan metode baru yang lebih efisien dan informatif. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah penerapan teknologi citra digital yang didukung oleh kecerdasan buatan yang terintegrasi dengan metode Convolutional Neural Network (CNN) dan model Long Short-Term Memory (LSTM).

Beberapa penelitian terdahulu menggunakan algoritma CNN dalam klasifikasi data citra, yaitu pada penelitian [7] yang mendemonstrasikan kemampuan CNN dalam klasifikasi citra pada dataset Caltech 101, dengan mencapai tingkat akurasi 20-50% berdasarkan parameter yang digunakan. Kemudian pada penelitian [5] mengembangkan sistem deteksi objek menggunakan CNN dengan pendekatan Bi-FPN (Bidirectional Feature Pyramid Network). Sistem ini berhasil mengotomatisasi proses penghitungan dan pengukuran ukuran udang secara akurat dan efisien, menggantikan metode pengukuran manual yang rentan terhadap kesalahan manusia dan memakan waktu. Metode ini mencapai tingkat akurasi yang mengesankan sebesar 77,3%. Pada penelitian [2] dilakukan penerapan algoritma dengan menerapkan dua arsitektur pada CNN yaitu Visual Geometry Group-16 (VGG-16) dan Residual Network-50 (ResNet-50) untuk mengklasifikasikan jenis udang Vaname berdasarkan data citra yang mampu menangani berbagai tantangan dalam pengolahan data citra yang kompleks, seperti variasi ukuran, orientasi, dan latar belakang objek dengan tingkat akurasi mencapai 100%, menunjukkan efektivitas metode ini dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan objek secara otomatis dan efisien. Hasilnya memperlihatkan bahwa CNN memberikan perform yang lebih baik dibandingkan algoritma lainnya.

Teknologi citra digital menggunakan algoritma CNN tidak hanya memungkinkan untuk menghitung jumlah objek benur secara otomatis, tetapi juga dapat digunakan untuk mendeteksi kesehatan benur, mengidentifikasi adanya jamur pada benur, serta mengukur tingkat keaktifan benur sesuai dengan standar benur sebelum tebar. Dengan menggunakan teknik analisis citra dan algoritma kecerdasan buatan yang tepat, sistem ini dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif dan akurat terkait perhitungan dan analisa kondisi benur, sehingga petani udang dapat membuat keputusan pembelian dan manajemen budidaya yang lebih tepat. Selain itu, penggunaan sistem deteksi dini yang terintegrasi dengan teknologi citra digital dan kecerdasan buatan memiliki beragam manfaat tambahan bagi industri budidaya udang. Dengan kemampuannya untuk menghitung dan mendeteksi kesehatan benur serta adanya jamur pada benur, sistem ini dapat membantu petani udang untuk mengidentifikasi potensi risiko penyakit dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat secara proaktif. Selain itu, pengukuran tingkat keaktifan benur sesuai standar benur sebelum tebar menjadi informasi kritis yang dapat membantu petani untuk menilai kualitas benur sebelum digunakan dalam proses pembesaran. Dengan demikian, pengguna sistem deteksi dini yang komprehensif ini tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi benih udang, tetapi juga membantu meningkatkan kesehatan dan kualitas udang yang dibudidayakan secara keseluruhan.

2. Metode

2.1 Artificial Intelligence (AI)

Menurut [8], AI digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan untuk menghasilkan prediksi terhadap data yang lebih akurat. AI dalam sebuah aplikasi sistem deteksi jumlah dan kondisi pada benur bermaksud untuk memantau secara cerdas kondisi benur dan memberikan estimasi yang lebih akurat mengenai jumlah dan kesehatannya. Alhasil, diharapkan sistem ini dapat meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan tambak benur, terutama dalam hal pemantauan otomatis dan pengambilan keputusan berbasis data. Selain itu, menurut [9], teknologi deteksi dini berbasis AI akan menjadi elemen penting dalam revolusi industri perikanan, khususnya dalam budidaya udang Vaname. Dengan penerapan sistem deteksi dini berbasis AI, petambak dapat lebih cepat mendeteksi perubahan kondisi lingkungan atau kesehatan benur, sehingga tindakan preventif dapat diambil sebelum terjadi masalah yang lebih serius. Misalnya, perubahan kualitas air atau indikasi awal penyakit dapat dikenali secara otomatis oleh sistem, yang kemudian memberikan rekomendasi tindakan kepada petambak sebelum melakukan proses penebaran benur. Dengan demikian, penggunaan AI dalam deteksi dini tidak hanya meningkatkan produktivitas tambak, tetapi juga menjaga kualitas benur secara berkelanjutan, sehingga dapat mendukung pertumbuhan industri budidaya udang Vaname secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

2.2 Preprocessing

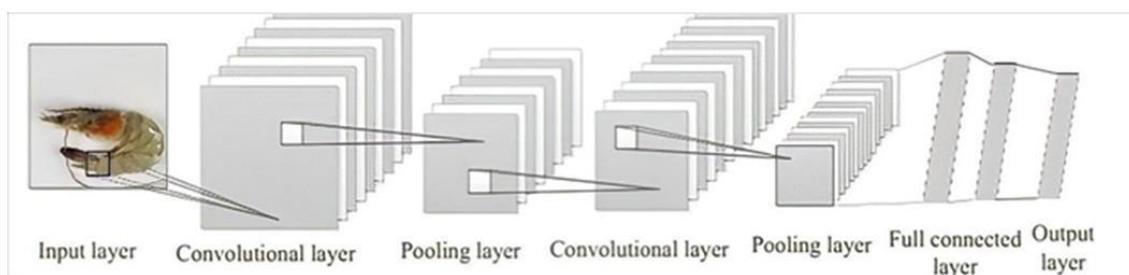
Preprocessing merupakan proses mempersiapkan data seperti membersihkan data dari noise ataupun merubah format data [10]. Langkah kunci dalam mengevaluasi keakuratan klasifikasi gambar meliputi tahapan preprocessing. Setelah data dan citra udang terkumpul, preprocessing dilakukan untuk memastikan data tersebut siap dianalisis lebih lanjut. Tujuan utama dari preprocessing adalah menyiapkan dataset, baik data latih maupun data uji beserta label-labelnya, sehingga dapat digunakan dalam proses pelatihan model. Selanjutnya, pada tahap training, model CNN dilatih menggunakan data yang telah dipreprocessing untuk menghasilkan model yang dapat digunakan dalam proses testing untuk melakukan klasifikasi data. [11]. Contoh dataset gambar benur udang vaname dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sampel Dataset Benur Udang Vaname

2.3 Convolutional Neural Network (CNN)

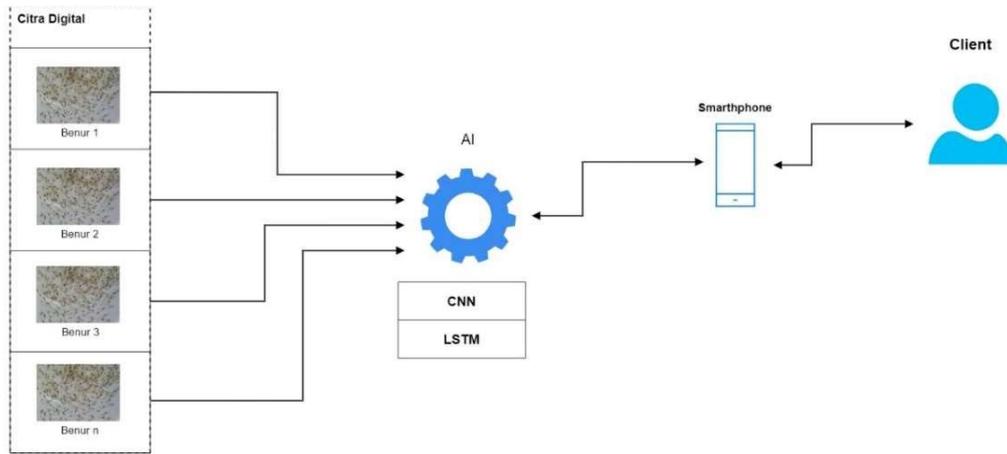
CNN merupakan salah satu jenis neural network yang mengoptimalkan pemrosesan data gambar. Komponen utamanya, konvolusi, merupakan operasi matriks yang berfungsi sebagai filter untuk mengekstrak fitur dari gambar [12]. Pada era modern saat ini CNN merupakan salah satu metode deep learning yang memiliki hasil paling efektif dalam pengenalan citra [13]. Keunggulan CNN terletak pada kemampuannya menganalisis dan mendeteksi objek dalam gambar visual, mendeteksi dan mengenali objek pada image, yang merupakan vektor berdimensi tinggi yang akan melibatkan banyak parameter untuk mencirikan jaringan [14]. CNN memiliki beberapa layer yang berfungsi untuk melakukan filter pada setiap prosesnya. Proses tersebut disebut dengan proses training. Pada proses training terdapat 3 tahapan yaitu Convolutional layer untuk ekstraksi fitur, Pooling layer untuk reduksi dimensi, dan Fully connected layer untuk klasifikasi akhir.



Gambar 2. Struktur Algoritma CNN

2.4 Pengembangan Model Long Short-Term Memory (LSTM)

Pengembangan model LSTM merupakan proses perancangan dan pelatihan model jaringan saraf tiruan berbasis LSTM untuk menganalisis data deret waktu dengan mengingat informasi jangka panjang dan pendek [15]. Melalui langkah-langkah ini, model LSTM dapat memahami pola-pola kompleks dalam data deret waktu, seperti pada data citra benur udang dan membuat prediksi terkait kondisi atau karakteristik benur tersebut. Proses pengembangan model LSTM bertujuan untuk meningkatkan kemampuan model dalam mengenali dan menginterpretasi pola-pola penting dalam data serta membuat prediksi yang akurat berdasarkan informasi yang diberikan. Teknologi LSTM digunakan untuk mendeteksi dini kondisi benur dan menyusun data latih dan data uji untuk melatih dan menguji model. Selanjutnya, dilakukan pengujian model menggunakan dataset yang telah disiapkan dan evaluasi performa model. Proses ini akan berulang hingga diperoleh model yang memiliki akurasi yang memadai.

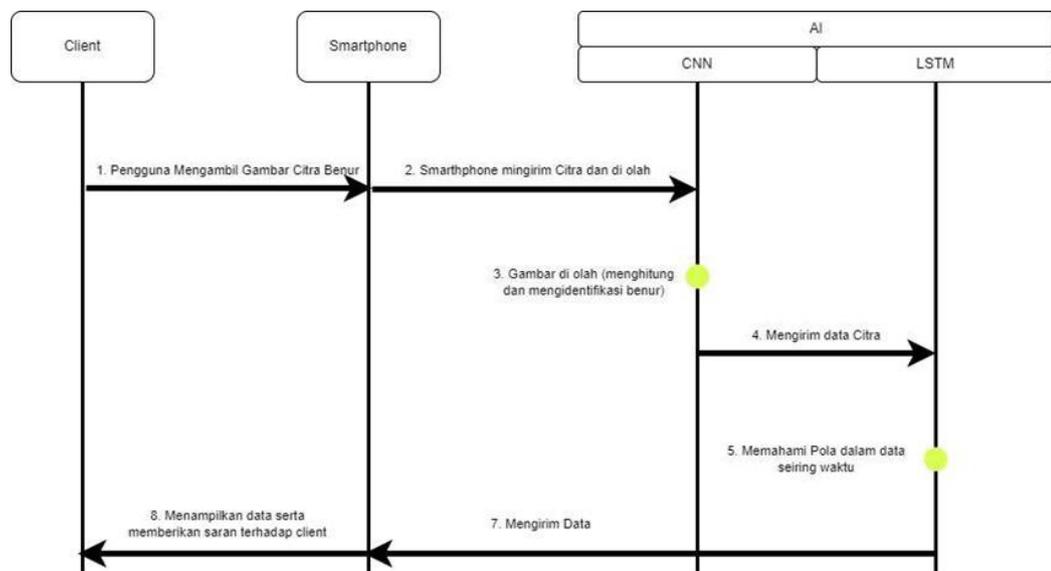


Gambar 3. Alur Sistem Deteksi

2.5 Integrasi Teknologi Citra Digital CNN dan Model LSTM

Integrasi Teknologi Citra Digital CNN dan Model LSTM mengacu pada kombinasi metode pengolahan gambar (citra) dengan model pembelajaran mesin yang dirancang untuk menangani data sekuensial yang memiliki input berupa urutan frame-frame [16]. LSTM dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah yang melibatkan data sequential seperti data time-series, LSTM memiliki lebih banyak memori proses dan dapat melakukan proses pembelajaran mesin dari masukan data yang bervariasi dengan jeda waktu antar data yang lebih lama. Menurut [17], ada tiga gerbang yaitu gerbang masuk yang menentukan apakah akan membiarkan data baru masuk tidak, gerbang relevansi yang membersihkan informasi apa yang akan dikeluarkan, ketiga gerbang tersebut merupakan gerbang analog berdasarkan fungsi Sigmoid yang bekerja pada kerentanan 0 hingga 1.

Integrasi teknologi citra digital dan model LSTM dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam menganalisis data citra. Teknologi citra digital digunakan untuk mengambil informasi visual dari citra benur, seperti tekstur dan bentuk yang akan menjadi input untuk model LSTM. Model LSTM kemudian akan memproses informasi untuk menghasilkan prediksi terkait kondisi benur, seperti kesehatan dan tingkat keaktifan. Dengan penggabungan kedua teknologi ini, sistem dapat memberikan analisis yang lebih komprehensif terhadap kondisi benur udang, yang akan mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam manajemen budidaya udang.



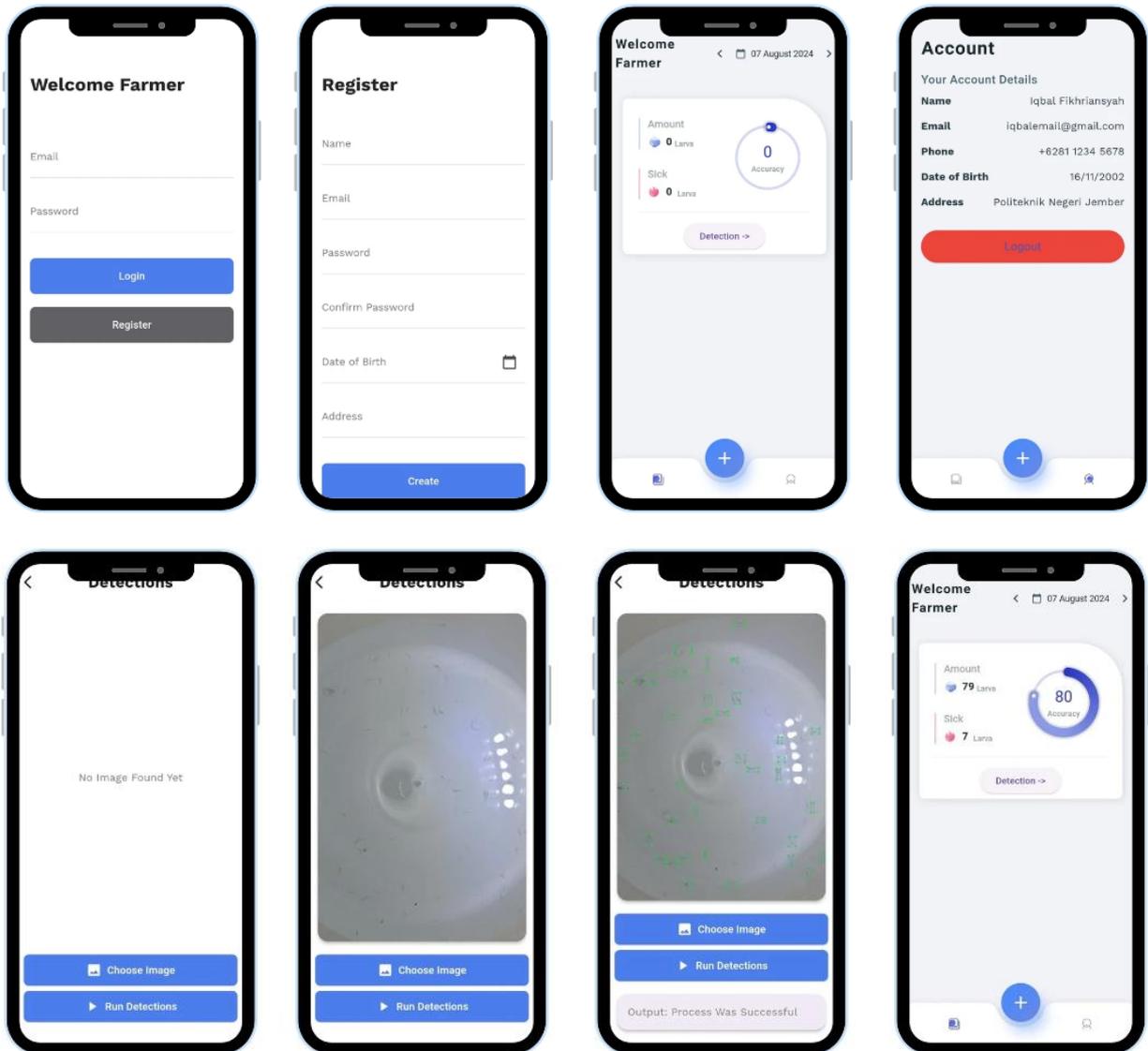
Gambar 4. Alur Kerja Sistem Artificial Intelligence dalam Sistem Deteksi

3. Hasil

Pada awal tahapan penelitian ini, telah dilakukan pengumpulan data citra yang digunakan untuk pengujian. Dalam tahap perancangan model CNN dilakukan penentuan jumlah epoch. Epoch sendiri merupakan proses pengulangan CNN yang memproses seluruh dataset yang tersedia. Untuk mendapatkan model yang optimal, peneliti melakukan eksperimen dengan dua skenario yaitu dengan menggunakan 500 epoch dan 1000 epoch yang kemudian hasilnya akan dibandingkan untuk menentukan hasil yang terbaik. Dalam percobaan ini, learning rate yang digunakan adalah 0.5100 dengan memanfaatkan data training sebanyak 3.000 gambar benur udang vaname yang menghasilkan 2 output layer.

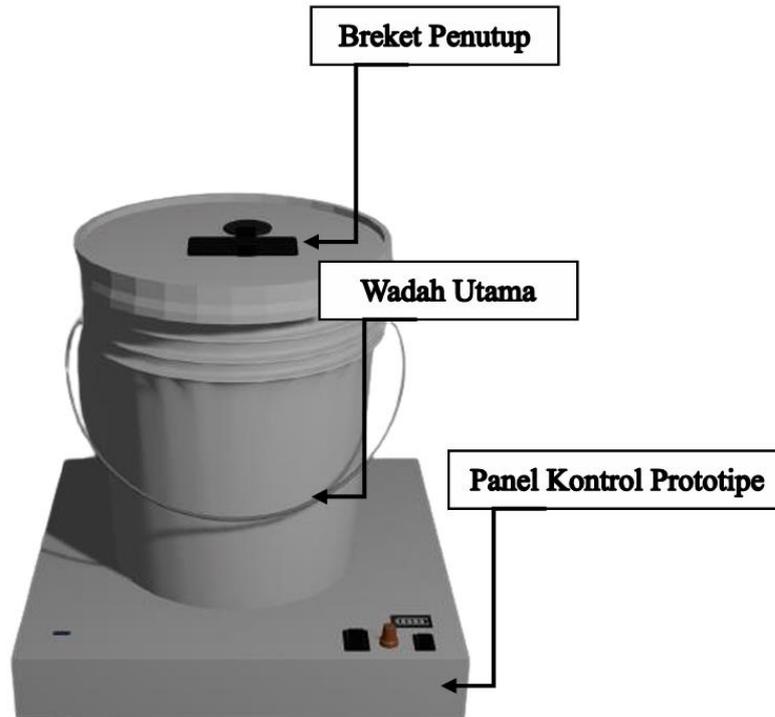
Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan learning rate 0.5100, namun epoch yang digunakan berbeda, didapatkan hasil yang bervariasi. Pada epoch 500, akurasi model cenderung naik secara stabil, sementara error rate yang cenderung menurun, dengan nilai akhir dengan akurasi sebesar 80% dan nilai error rate sebesar 0.7. Ketika menggunakan epoch 1.000, hasilnya hampir serupa, namun nilai akurasi meningkat lebih tinggi hingga 85% dengan nilai error rate yang menurun hingga 0.5. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan epoch 1.000 lebih baik dalam penelitian ini karena memberikan hasil akurasi yang lebih tinggi.

Sistem deteksi ini digunakan dalam bentuk aplikasi yang dinamakan "VannameiAI" yang sudah terintegrasi dengan teknologi citra digital CNN dan metode LSTM yang berhasil membantu petambak dalam melakukan penghitungan serta deteksi dini kondisi benur udang vaname secara otomatis, baik dalam hal mendeteksi kesehatan benur maupun mendeteksi penyakit seperti jamur. Aplikasi ini memungkinkan petambak untuk menyimpan data hasil deteksi dengan mudah. Adapun tampilan menu yang telah dirancang adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Tampilan Menu Aplikasi Deteksi Dini "VannameiAI"

Aplikasi “VannameiAI” juga terdapat fitur tambahan yaitu sistem pengaduk magnetik yang terintegrasi untuk memperkuat kemampuan aplikasi untuk secara proaktif mencegah potensi penyakit yang dapat mempengaruhi hasil panen. Adapun desain sistem pengaduk dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sistem Pengaduk Magnetik VannameiAI

4. Pembahasan

Keberhasilan dalam penggunaan model ini dapat dikaitkan dengan pemanfaatan algoritma CNN yang sangat efektif dalam memproses data citra, terutama untuk mendeteksi pola pada gambar benur udang vaname. Pemilihan learning rate 0.5100 juga memberikan pengaruh yang signifikan dalam menjaga keseimbangan antara kecepatan pelatihan dan akurasi yang dihasilkan. Learning rate yang terlalu tinggi dapat menyebabkan model tidak stabil, sementara learning rate yang terlalu rendah membuat pelatihan terlalu lambat.

Pada penelitian sebelumnya, yang menerapkan Deep Learning pada pengolahan data citra dan klasifikasi udang vaname menggunakan dua arsitektur algoritma CNN yaitu VGG-16 dan ResNet-50 dengan pemilihan learning rate 0.001 dengan waktu pelatihan yang cukup lama kurang lebih 200 menit 50 detik. Hasil evaluasi model yang menggunakan CNN, variasi pengoptimal, dan kecepatan training data menunjukkan hasil yang menjanjikan dan sangat akurat yaitu akurasi sebesar 100%. Dalam penelitian tersebut, direkomendasikan untuk pengembangan aplikasi praktis, seperti website atau aplikasi telepon yang membantu temuan penelitian menjadi lebih mudah. Perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian kali ini terdapat pada bentuk sistem deteksi dan integrasi model yang berbeda.

Aplikasi deteksi dini “VannameiAI” memberikan solusi canggih dan praktis yang memanfaatkan kecerdasan buatan yang terintegrasi dengan teknologi citra digital CNN dan model LSTM untuk mendukung efisiensi dan keberhasilan budidaya udang yang rentan terhadap kesalahan manusia, khususnya dalam menghitung jumlah benur dan klasifikasi kondisi benur. Teknologi ini membantu petambak dalam berbagai aspek krusial, seperti mendeteksi kesehatan benur dan mendeteksi adanya jamur atau penyakit lain yang dapat mempengaruhi kualitas dan keberlangsungan benur. Salah satu fitur unggulan dari “VannameiAI” adalah sistem pengaduk magnetik yang terintegrasi, yang mampu mengidentifikasi potensi risiko penyakit dan secara proaktif mengambil tindakan pencegahan yang tepat. Dengan menggunakan kamera smartphone yang tersedia di fitur aplikasi, petambak dapat memindai dan menganalisis kesehatan benur secara otomatis, menghilangkan kebutuhan untuk melakukan perhitungan dan analisis manual yang memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia. Selain itu, aplikasi ini juga dilengkapi dengan fitur penyimpanan data yang memungkinkan petambak untuk merekam informasi hasil panen mereka dengan mudah.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan dengan adanya Artificial Intelligence yang mengintegrasikan model citra digital CNN dan LSTM sudah dapat melakukan klasifikasi kondisi kesehatan pada benur dengan akurasi 85%. Integrasi CNN-LSTM berhasil melakukan penghitungan jumlah benur secara otomatis dengan membutuhkan waktu kurang dari 5 menit. Sistem ini bekerja dengan cara image preprocessing pada sebuah gambar yang memanfaatkan pengolahan gambar dan mesin learning untuk memberikan solusi yang efisien dan akurat dalam industri perikanan. Menariknya, dibanding dengan metode konvensional yang melakukan penghitungan benur dengan cara sampling secara manual membutuhkan waktu yang cukup lama, kini penghitungan benur udang vaname hanya membutuhkan waktu yang singkat hanya dengan menggunakan aplikasi "VannameiAI" pada smartphone yang sekaligus dapat mengetahui kondisi kesehatan benur tanpa mengidentifikasi dari masing-masing benur.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, Dan Teknologi Republik Indonesia, Khususnya Direktorat Jendral Pendidikan Vokasi yang mendanai kami dalam Program Kreativitas Mahasiswa Karsa Cipta (PKM-KC). Serta kami sampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Jember serta pembimbing tim VannameiAI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Luneto and Kaslam, "Competitive Advantage Udang Windu Pinrang Dalam Perdagangan Internasional," *Rev. Int. Relations*, vol. 4, no. 1, pp. 1–20, 2022, doi: 10.24252/rir.v4i1.28459.
- [2] S. Astiti, Nopriadi, W. Novrian, and Y. P. Putra, "Penerapan Deep Learning pada Pengolahan Data Citra dan Klasifikasi Udang Vaname Menggunakan Algoritma Convolutional Neural Network Sarah," *Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 490–498, 2024, doi: 10.47065/bits.v6i1.5418.
- [3] S. Mulyani *et al.*, "Penerapan Teknologi Budidaya Tambak Udang Vanname Sistem Intensif dan Standar Cara Budidaya Ikan Yang Baik (CBIB) Di Desa Majannang Application of Vanname Shrimp Pond Cultivation Technology Intensive System and Good Fish Farming Method (CBIB) Standard," *Int. J. Public Devot.*, vol. 7, no. 1, pp. 10–20, 2024.
- [4] A. Suriawan, S. Efendi, S. Asmoro, and J. Wiyana, "Sistem Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) pada Tambak HDPE dengan Sumber Air Bawah Tanah Salinitas Tinggi di Kabupaten Pasuruan," *J. Perencanaan Budid. Air Payau dan Laut*, vol. 14, no. 14, pp. 6–14, 2019.
- [5] R. Faisal, R. A. Kambau, and M. Hasrul H, "Perhitungan Otomatis Ukuran Udang Vaname Menerapkan Object Detection Dengan Convolutional Neural Network Menggunakan Metode Bidirectional Feature Pyramid Network," *J. INSTEK (Informatika Sains dan Teknol.*, vol. 9, no. 1, pp. 141–147, 2024, doi: 10.24252/instek.v9i1.46420.
- [6] A. Amalia, "Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Di Tambak Milenial," pp. 1–34, 2018.
- [7] I. W. Suartika, A. Y. Wijaya, and R. Soelaiman, "Klasifikasi Citra Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Pada Caltech 101," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 1, p. 76, 2016, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/48842/>
- [8] T. H. Salsabila, T. M. Indrawati, and R. A. Fitrie, "Meningkatkan Efisiensi Pengambilan Keputusan Publik melalui Kecerdasan Buatan," *J. Internet Softw. Eng.*, vol. 1, no. 2, p. 21, 2024, doi: 10.47134/pjise.v1i2.2401.
- [9] R. D. Puspitasari, "Pertanian Berkelanjutan Berbasis Revolusi Industri 4.0," *J. Layanan Masy. Univ. Airlangga*, vol. 3, no. 1, p. 26, 2019, doi: 10.20473/jlm.v3i1.2019.26-28.
- [10] D. Gunawan, "Evaluasi Performa Pemecahan Database dengan Metode Klasifikasi Pada Data Preprocessing Data mining," *Khazanah Inform. J. Ilmu Komput. dan Inform.*, vol. 2, no. 1, pp. 10–13,

- [11] M. I. Sa'ad and H. Pratiwi, "Deteksi Marker Augmented Reality dalam Pengenalan Batik Kalimantan Timur menggunakan Algoritma Convolutional Neural Networks (CNNs)," *MIND (Multimedia Artif. Intell. Netw. Database) J. MIND*, vol. 9, no. 1, pp. 89–98, 2024.
- [12] A. Santoso and G. Ariyanto, "IMPLEMENTASI DEEP LEARNING BERBASIS KERAS UNTUK PENGENALAN WAJAH," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 18, no. 01, pp. 15–21, 2018.
- [13] Fani Nurona Cahya, Nila Hardi, D. Riana, and S. Hadianti, "Klasifikasi Penyakit Mata Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)," *Sist. J. Sist. Inf.*, vol. 10, no. 3, pp. 199–206, 2021, doi: 10.59407/jrsit.v1i3.529.
- [14] P. A. Nugroho, I. Fenriana, and R. Arijanto, "Implementasi Deep Learning Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Pada Ekspresi Manusia," *Algor*, vol. 2, no. 1, pp. 12–21, 2020.
- [15] I. A. Pradana, A. D. Rahajoe, and A. N. Sihananto, "PENGEMBANGAN APLIKASI PENDETEKSI KERETAKAN JALAN BERBASIS ANDROID DENGAN IMPLEMENTASI ALGORITMA HYBRID CNN-LSTM," vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2024.
- [16] M. A. Zulfikar, M. Somantri, and Sudjadi, "Penerapan Metode Convolutional Neural Network (CNN) Dan Long Short Term Memory (LSTM) Untuk Pengenalan Aktivitas Manusia Pada CCTV Di Area Tambak Udang," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 98–105, 2021, doi: 10.14710/transient.v10i1.98-105.
- [17] Y. F. Hestrio, K. A. Pradono, and A. Widipaminto, "Perancangan Sistem Monitoring Cloud Cover Untuk Pemantauan Dan Prediksi Cloud Cover Menggunakan Metode Database Management System Dan Long Short-Term Memory," *J. Penginderaan Jauh dan Pengolah. Data Citra Digit.*, vol. 18, no. 1, pp. 55–63, 2021.