INTEGRASI SENSOR LOADCELL, TCS34725, DAN INFRARED OBSTACLE PADA SISTEM SORTIR UDANG VANAME OTOMATIS BERBASIS IOT

Afri Yudha[1)], dan Rian Surya Pratama[2)]
[1,2)]Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada
Jl. Taman Malaka Selatan No. 1 Pondok Kelapa, Jakarta Timur, 13450, DKI Jakarta, Indonesia
e-mail: bintuyudha@gmail.com

ABSTRACT

This study presents the development and preliminary functional evaluation of an Internet of Things (IoT)-based vannamei shrimp sorting prototype integrating an ESP32 microcontroller, a load cell with an HX711 module, a TCS34725 color sensor, an infrared obstacle sensor, a conveyor, servo actuators, and a web monitoring system. The prototype implements rule-based sorting using measured weight and the normalized red-channel proportion obtained from RGB sensor readings. The infrared sensor triggers the color-reading and sorting sequence, while the ESP32 directs objects into three predefined output categories. Data are transmitted to a PHP/MySQL-based web monitoring system for recording and visualization. Based on 20 preliminary trials reported for each evaluated component and the sorting mechanism, the agreement with the original functional test criteria was 95% for the load cell, 100% for infrared detection, 85% for color classification, and 90% for the physical sorting mechanism. These percentages describe preliminary functional test outcomes rather than independently validated measurement or freshness-classification accuracy. In particular, the color-based categories have not been verified against independent shrimp freshness assessments. The findings demonstrate the implementation feasibility of sequential sensor-actuator integration and digital monitoring while highlighting the need for reference-based measurement validation, larger-scale testing, and independent freshness assessment.

***Keywords**: Automatic Sorting, ESP32, Internet of Things, Loadcell, Vannamei Shrimp.*

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi fungsi awal prototipe sistem sortir udang vaname otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor loadcell dengan modul HX711, sensor warna TCS34725, sensor infrared obstacle, conveyor, motor servo, dan web monitoring. Sistem menerapkan klasifikasi berbasis aturan menggunakan nilai berat serta proporsi kanal merah yang dinormalisasi dari pembacaan RGB. Sensor infrared digunakan sebagai pemicu pembacaan warna dan proses penyortiran, sedangkan ESP32 mengendalikan aktuator untuk mengarahkan objek ke tiga kategori keluaran yang telah ditentukan. Data pembacaan sensor dikirimkan ke sistem web monitoring berbasis PHP dan MySQL untuk pencatatan dan visualisasi. Berdasarkan rekapitulasi 20 kali pengujian awal pada setiap komponen yang dievaluasi dan mekanisme penyortiran, diperoleh tingkat kesesuaian terhadap kriteria pengujian fungsional sebesar 95% pada loadcell, 100% pada infrared obstacle, 85% pada klasifikasi warna, dan 90% pada mekanisme penyortiran fisik. Persentase tersebut merupakan hasil evaluasi fungsional awal dan belum merepresentasikan akurasi pengukuran maupun klasifikasi kesegaran yang tervalidasi secara independen. Khususnya, hubungan antara kategori warna dan tingkat kesegaran udang belum diverifikasi menggunakan penilaian referensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor, aktuator, dan pencatatan digital dapat diimplementasikan dalam satu prototipe, dengan kebutuhan pengujian lanjutan untuk mengevaluasi validitas pengukuran, klasifikasi, dan performa sistem secara lebih menyeluruh.

***Kata Kunci**: ESP32, Internet of Things, loadcell, sortir otomatis, udang vaname.*

I. PENDAHULUAN

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan komoditas perikanan yang memerlukan pengelompokan ukuran dalam proses perdagangan. Perbedaan ukuran udang menjadi salah satu dasar pengelompokan produk dalam proses penanganan pascapanen. Penelitian Ulum dkk. [1] menunjukkan penerapan pengolahan citra untuk mengembangkan sistem penyortiran udang vaname berdasarkan karakteristik ukuran. Pada tahap pascapanen, proses penyortiran menjadi bagian penting karena berpengaruh terhadap mutu produk, keseragaman ukuran, efisiensi distribusi, dan nilai jual [2]. Penyortiran yang tidak konsisten dapat menyebabkan perbedaan kualitas produk, kesalahan pengelompokan ukuran, serta menurunkan efisiensi proses produksi. Namun, pada banyak usaha perikanan, proses penyortiran udang masih dilakukan secara manual berdasarkan pengamatan visual dan estimasi ukuran oleh tenaga kerja manusia [1].

Kondisi tersebut juga ditemukan pada CV Manggar Mas, di mana proses sortir udang vaname masih bergantung pada tenaga manusia. Metode manual memiliki beberapa keterbatasan, antara lain membutuhkan waktu yang relatif lama, bergantung pada ketelitian dan pengalaman pekerja, serta rentan terhadap kelelahan. Faktor tersebut dapat menimbulkan

Jurnal Elektrika Vol. 18 No. 2 2026 P-ISSN 2085-0565 | E-ISSN 2580-8486
Received 29 Mei 2026, Revised 25 Oct 2026, Accepted 27 Oct 2026
DOI 10.26623/elektrika.v18i2.14658

ketidakkonsistenan dalam klasifikasi ukuran dan kualitas udang. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat berdampak pada efisiensi operasional, konsistensi mutu, dan nilai jual produk. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan prototipe sistem penyortiran berbasis sensor untuk menerapkan aturan klasifikasi yang terdefinisi dan mendokumentasikan hasil pemrosesan secara digital. Evaluasi prototipe difokuskan pada fungsi sistem, sedangkan peningkatan efisiensi maupun keunggulan terhadap penyortiran manual belum diuji secara komparatif.

Perkembangan teknologi otomasi dan *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk meningkatkan efisiensi proses sortir pada sektor perikanan. IoT memungkinkan integrasi sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sistem *monitoring* agar proses pengukuran, klasifikasi, serta pencatatan data dapat dilakukan secara otomatis. Dalam konteks penyortiran udang, penggunaan sensor berat, sensor warna, dan sensor pendeteksi objek dapat membantu sistem dalam menentukan kategori udang berdasarkan parameter yang lebih terukur. Penelitian ini mengembangkan prototipe sistem sortir otomatis berbasis ESP32 yang mengintegrasikan tiga sensor utama, yaitu sensor *loadcell* untuk pengukuran berat, sensor warna TCS34725 untuk mendeteksi kualitas visual berdasarkan nilai RGB, serta sensor *infrared obstacle* untuk mendeteksi keberadaan udang pada jalur conveyor.

Penerapan *Internet of Things* (IoT) pada sektor udang vaname telah banyak dikembangkan, terutama pada tahap budidaya. Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan IoT untuk memantau kualitas air tambak, seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan parameter lingkungan lain yang berpengaruh terhadap pertumbuhan serta keberlangsungan hidup udang [3], [4], [5]. Selain itu, Setiawan dan Surantha merancang konsep *smart aquaculture* berbasis IoT untuk sektor tambak udang vaname dengan pendekatan *Quality Function Deployment* [6]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa IoT telah banyak digunakan untuk mendukung pemantauan pada tahap budidaya. Namun, penerapan IoT pada tahap pascapanen, khususnya untuk proses sortir udang vaname otomatis, masih relatif lebih terbatas dibandingkan penelitian monitoring tambak

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas sistem penyortiran udang dan otomasi berbasis sensor. Ulum dkk. mengembangkan sistem sortir udang vaname berbasis pengolahan citra dengan metode blob detection untuk mendeteksi ukuran udang dan melaporkan rata-rata akurasi sekitar 90% [1]. Chen dkk. mengembangkan pendekatan tactile perception untuk mengenali udang dengan dan tanpa cangkang pada mesin pengupas otomatis [7]. Penelitian Pratama mengembangkan alat sortir udang vaname berdasarkan berat menggunakan sensor loadcell [8]. Pada objek yang berbeda, Ramdani mengembangkan sistem penyortiran produk berdasarkan warna menggunakan single board computer [9]. Sementara itu, Sulistiyowati dkk. mengembangkan sistem conveyor dengan ESP32-Camera dan OpenCV untuk mendeteksi serta memilah objek berdasarkan karakteristik warna [10]. Penelitian-penelitian tersebut menjadi dasar pengembangan sistem sortir berbasis sensor dan aktuator, tetapi tidak secara langsung memvalidasi klasifikasi kesegaran udang berdasarkan proporsi kanal merah.

Kontribusi penelitian ini terletak pada implementasi dan evaluasi fungsional integrasi sensor loadcell, TCS34725, dan infrared obstacle dengan mekanisme aktuator serta web monitoring dalam satu prototipe sortir udang vaname berbasis ESP32. Berbeda dari pendekatan yang berfokus pada pengukuran berat atau karakteristik visual secara terpisah [1], [8], [9], [10], penelitian ini mendokumentasikan alur pemrosesan berurutan yang mencakup penimbangan, pembacaan warna, pemilihan jalur sortir, dan pengiriman data ke server. Sensor infrared digunakan sebagai pemicu operasional dan bukan sebagai parameter penilaian kualitas udang. Kontribusi ini bersifat integrasi dan implementasi sistem, sedangkan keunggulan kinerja terhadap metode penyortiran lainnya belum dievaluasi secara komparatif.

Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi fungsi awal prototipe sistem sortir udang vaname otomatis berbasis IoT berdasarkan pengukuran berat dan karakteristik warna permukaan. Evaluasi difokuskan pada kesesuaian fungsi sensor, penerapan aturan klasifikasi, pengendalian aktuator, serta pencatatan hasil melalui web monitoring. Penelitian ini tidak dimaksudkan untuk membuktikan peningkatan produktivitas atau efisiensi biaya dibandingkan proses manual karena pengujian komparatif terhadap aspek tersebut belum dilakukan.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Parameter Sortir Pascapanen Udang Vaname

Dalam penanganan pascapanen, ukuran dan berat menjadi atribut penting dalam pengelompokan udang [1], [8], sedangkan kondisi mutu memerlukan penilaian yang lebih luas, termasuk penilaian sensoris serta karakteristik fisikokimia [11], [12]. Berat dan karakteristik warna permukaan merupakan dua atribut fisik yang dapat diukur menggunakan sensor. Dalam prototipe ini, loadcell digunakan untuk mengukur berat, sedangkan TCS34725 digunakan untuk memperoleh nilai RGB permukaan objek. Perubahan warna dapat berkaitan dengan kondisi fisik udang, tetapi warna permukaan tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar untuk menentukan kesegaran tanpa validasi terhadap indikator mutu independen. Oleh karena itu, hasil pembacaan TCS34725 dalam penelitian ini diperlakukan sebagai parameter klasifikasi visual berbasis aturan, bukan sebagai pengukuran kesegaran biologis yang telah tervalidasi.

Penilaian kesegaran udang memerlukan indikator mutu yang lebih luas, seperti penilaian sensoris dan parameter fisikokimia. Standar udang segar dan penelitian perubahan mutu selama penyimpanan dapat digunakan sebagai landasan evaluasi tersebut [11], [12].

Liu dkk. [12] menunjukkan bahwa penurunan mutu Penaeus vannamei selama penyimpanan dapat disertai perubahan penampilan permukaan, termasuk perubahan warna dan berkurangnya kilap, serta perubahan kualitas sensoris dan fisikokimia. Temuan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik warna dapat menjadi salah satu informasi pendukung dalam evaluasi mutu. Akan tetapi, penelitian tersebut tidak menetapkan bahwa satu nilai ambang proporsi kanal merah dapat digunakan sebagai indikator kesegaran yang berlaku umum. Oleh karena itu, penggunaan proporsi merah lebih besar dari 0,40 pada prototipe ini diposisikan sebagai aturan pengelompokan warna yang diterapkan dalam perangkat lunak, bukan sebagai batas kesegaran yang telah divalidasi berdasarkan standar mutu.

B. Internet of Things (IoT) dalam Otomasi Industri

Internet of Things (IoT) adalah kerangka kerja yang menghubungkan perangkat fisik dengan jaringan komunikasi untuk melakukan pengumpulan, pemrosesan, dan pertukaran data secara otomatis [13]. Dalam sistem otomasi, IoT berfungsi mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, aktuator, dan antarmuka monitoring menjadi satu kesatuan yang koheren. Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai unit pemrosesan utama yang menerima pembacaan sensor, menjalankan aturan klasifikasi, mengendalikan aktuator, dan mengirimkan data melalui koneksi Wi-Fi. Pemanfaatan ESP32 untuk integrasi sensor dan komunikasi IoT juga ditemukan pada implementasi prototipe sebelumnya [14].

C. Sensor dan Aktuator pada Sistem Sortir

Sistem sortir otomatis mengandalkan sensor untuk memperoleh data objektif sebelum proses klasifikasi. Sensor loadcell dengan modul HX711 digunakan untuk memperoleh pembacaan berat sebagai masukan aturan pengelompokan objek. Penerapan sensor loadcell pada sistem sortir udang vaname berdasarkan berat juga telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya [8]. Namun, untuk mengetahui ketelitian pembacaan berat prototipe ini diperlukan pengujian terhadap timbangan referensi yang terkalibrasi.

Sensor TCS34725 digunakan untuk memperoleh pembacaan kanal warna RGB dari permukaan objek. Fitasari dan Irawan [15] telah menerapkan sensor tersebut pada prototipe penyortiran tomat berbasis warna dan ukuran dengan metode fuzzy logic. Penelitian tersebut menunjukkan penerapan TCS34725 dalam sistem sortir otomatis, tetapi tidak membuktikan validitas sensor untuk menentukan kesegaran udang. Pembacaan warna juga dapat dipengaruhi oleh pencahayaan, posisi dan jarak objek, serta pantulan permukaan. Oleh karena itu, pada penelitian ini hasil pembacaan TCS34725 dibatasi sebagai masukan aturan klasifikasi visual, bukan pengukuran kesegaran yang tervalidasi secara independen.

Sensor *infrared obstacle* berfungsi sebagai trigger deteksi keberadaan objek, memastikan pembacaan sensor lain dilakukan pada waktu yang tepat. Di sisi aktuator, motor conveyor bertugas memindahkan udang sepanjang jalur, sedangkan motor servo mengarahkan udang ke jalur keluaran sesuai hasil klasifikasi. Integrasi sensor dan aktuator ini menjadi inti dari mekanisme keputusan otomatis.

D. Web Monitoring pada Sistem IoT

Web monitoring berfungsi menerima, menyimpan, dan menampilkan data pembacaan sensor yang dikirimkan oleh ESP32 melalui jaringan. Pada prototipe ini, informasi yang disajikan meliputi berat objek, kategori hasil klasifikasi berbasis warna dan berat, status deteksi infrared, serta riwayat penyortiran. Pencatatan tersebut mendukung penelusuran hasil pemrosesan dan dokumentasi operasional sistem. Meskipun demikian, penelitian ini belum mengevaluasi latensi transmisi maupun waktu pembaruan tampilan secara kuantitatif. Oleh karena itu, kemampuan monitoring secara near real-time belum dapat disimpulkan dari hasil pengujian yang tersedia.

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode prototipe untuk mengembangkan sistem sortir udang vaname otomatis berbasis IoT. Metode ini dipilih karena memungkinkan pengembangan sistem dilakukan secara bertahap melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi [16]. Pendekatan prototipe sangat sesuai untuk penelitian yang melibatkan integrasi perangkat keras dan perangkat lunak.

Tahapan penelitian terdiri atas empat tahap utama: (1) analisis kebutuhan, (2) perancangan sistem, (3) pembuatan prototipe, dan (4) pengujian serta evaluasi. Penelitian ini difokuskan pada integrasi dua atribut pengukuran utama, yaitu berat dan karakteristik warna permukaan, dengan sensor infrared obstacle sebagai pemicu operasional. Pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan jalur keluaran berdasarkan aturan keputusan yang telah ditetapkan. Evaluasi penelitian difokuskan pada implementasi dan fungsi awal prototipe, bukan validasi independen terhadap mutu atau kesegaran udang.

B. Perangkat Penelitian

Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 sebagai mikrokontroler utama, sensor loadcell dengan

Jurnal Elektrika Vol. 18 No. 2 2026 P-ISSN 2085-0565 | E-ISSN 2580-8486
Received 29 Mei 2026, Revised 25 Oct 2026, Accepted 27 Oct 2026
DOI 10.26623/elektrika.v18i2.14658

modul HX711, sensor warna TCS34725, sensor infrared obstacle, motor conveyor, motor servo, LCD I2C, dan catu daya. Perangkat lunak yang digunakan adalah Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, serta PHP, MySQL, HTML, CSS, dan JavaScript untuk sistem web monitoring.

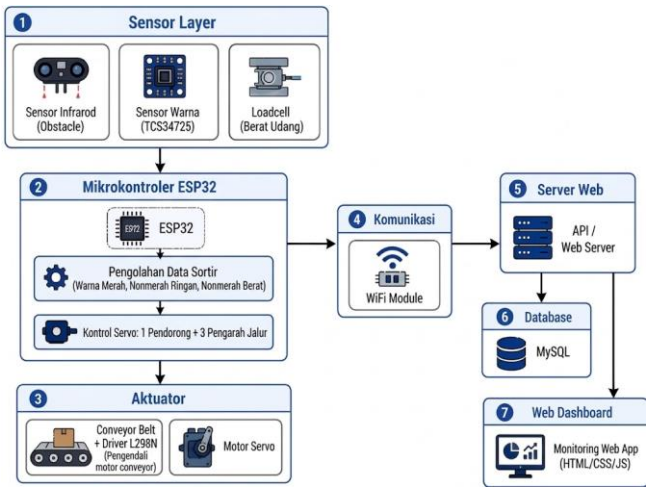
TABEL I
KOMPONEN PERANGKAT KERAS DAN PERANGKAT LUNAK

Komponen	Jumlah	Fungsi
ESP32	1	Pemrosesan data dan kendali sistem
Loadcell + HX711	1	Pengukuran berat
TCS34725	1	Pembacaan RGB
Infrared obstacle	1	Deteksi keberadaan objek
Motor DC conveyor	1	Penggerak conveyor
Motor servo	4	Satu pendorong dan tiga pengarah sortir
Driver L298N	1	Pengendali motor conveyor
LCD I2C 16×2	1	Tampilan lokal
Catu daya	1	Pemasok daya sistem
PHP dan MySQL	—	Penerimaan, penyimpanan, dan penyajian data
Arduino IDE	—	Pemrograman ESP32

Berdasarkan konfigurasi program pada prototipe, sensor TCS34725 dioperasikan dengan integration time 50 ms dan gain 4×. Modul loadcell HX711 menggunakan faktor skala kalibrasi −1092,1, dengan lima pembacaan berulang yang dirata-ratakan dalam satu siklus pengukuran. Sistem menggunakan batas minimal deteksi berat 5 gram, ambang klasifikasi berat 15 gram, dan deadzone sebesar ±2 gram. Nilai-nilai tersebut merupakan parameter konfigurasi perangkat lunak yang digunakan pada prototipe. Prosedur penentuan faktor kalibrasi menggunakan beban referensi belum terdokumentasi secara lengkap sehingga akurasi absolut pengukuran berat belum dapat disimpulkan.

C. Arsitektur Sistem

Sistem dirancang dengan tiga lapisan, yaitu lapisan sensor, lapisan pemrosesan (ESP32), dan lapisan monitoring. Lapisan sensor mencakup loadcell, TCS34725, dan infrared obstacle. ESP32 memproses data, menjalankan logika klasifikasi, dan mengendalikan aktuator.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Sortir Udang Vaname Berbasis IoT

D. Alur Kerja Sistem

Proses penyortiran dilakukan secara berurutan menggunakan mekanisme state machine pada ESP32. Berdasarkan implementasi program, sistem memiliki empat keadaan utama, yaitu MENUNGGU_BEBAN, BEBAN_TERDETEKSI, OBJEK_DORONG, dan MENUNGGU_IR. Ketika pembacaan berat mencapai batas minimal 5 gram, sistem menyimpan hasil pengukuran pada variabel beratTersimpan dan mengaktifkan servo pendorong untuk memindahkan objek menuju conveyor.

Selanjutnya, sistem menunggu pembacaan sensor infrared obstacle. Ketika objek terdeteksi, ESP32 mengaktifkan pembacaan sensor warna TCS34725. Proporsi kanal merah dihitung melalui normalisasi nilai RGB menggunakan persamaan berikut:

$$\left[P_R = \frac{R}{R+G+B}\right] \quad (1)$$

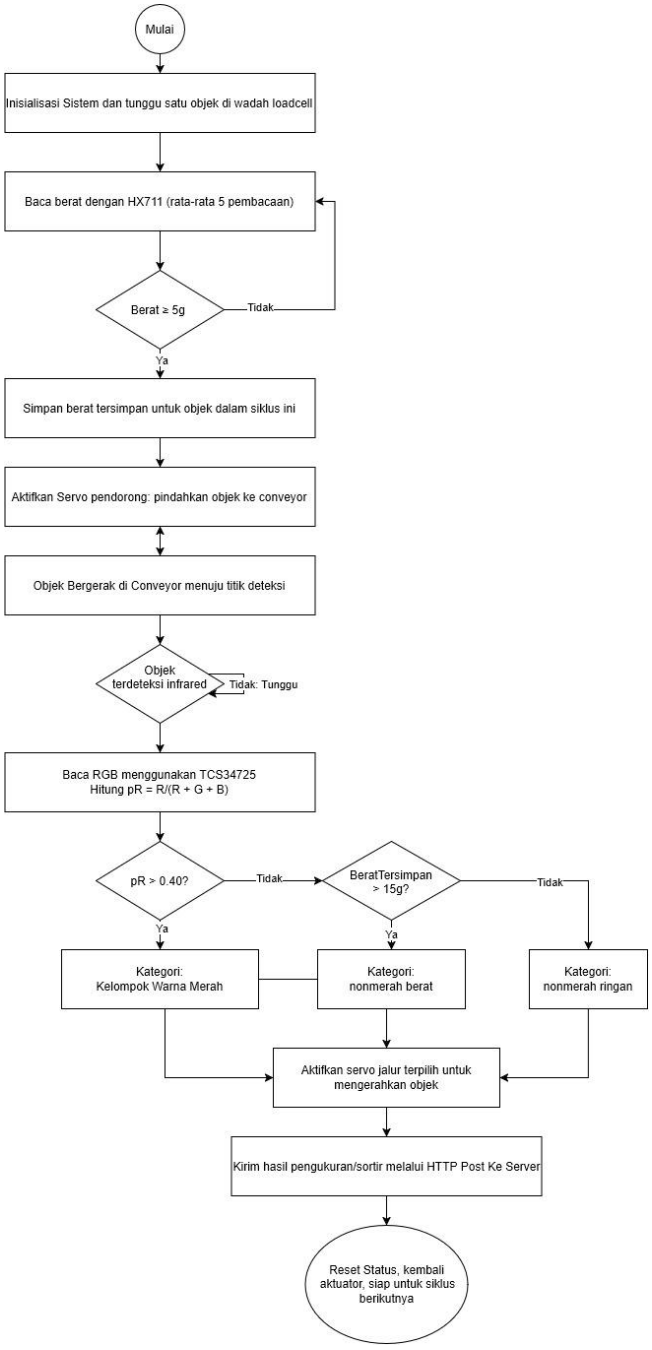
Pada Persamaan (1), P_R merupakan proporsi kanal merah, sedangkan R, G, dan B adalah nilai pembacaan masing-masing kanal warna dari sensor TCS34725. Apabila jumlah ketiga kanal bernilai nol, fungsi pada program asli mengembalikan nilai proporsi nol sebagai penanganan pembacaan kosong, bukan sebagai hasil validasi kategori warna. Berdasarkan aturan yang diimplementasikan pada ESP32, objek dikategorikan sebagai kelompok warna merah apabila P_R > 0,40. Apabila P_R ≤ 0,40, pengelompokan dilanjutkan berdasarkan berat tersimpan, yaitu kelompok nonmerah ringan untuk berat 5–15 gram dan kelompok nonmerah berat untuk berat lebih dari 15 gram.

Ambang 0,40 dan 15 gram merupakan parameter operasional yang digunakan dalam implementasi prototipe, bukan ambang kesegaran maupun standar grading komersial yang telah tervalidasi. Pengaitan pembacaan berat dan warna dilakukan secara sekuensial melalui penyimpanan nilai berat selama satu siklus penyortiran. Implementasi ini belum mencakup mekanisme antrean untuk menangani beberapa objek secara bersamaan. Setelah proses pemilahan, sistem mengirimkan data pembacaan sensor ke server dan kembali ke keadaan awal.

TABEL II
ATURAN KLASIFIKASI SORTIR UDANG VANAME

Proporsi Merah	Berat	Keluaran Berdasarkan Aturan
$P_R > 0{,}40$	≥5 gram	Kelompok warna merah
$P_R \leq 0{,}40$	5–15 gram	Kelompok nonmerah ringan
$P_R \leq 0{,}40$	>15 gram	Kelompok nonmerah berat

Nama keluaran tersebut merepresentasikan kategori operasional sistem. Label “segar” dan “tidak segar” pada antarmuka prototipe merupakan istilah implementasi awal dan tidak menunjukkan bahwa kesegaran objek telah divalidasi secara independen.



Gambar 2. Flowchart Alur Penyortiran Udang Vaname Berdasarkan Pengukuran Berat dan Proporsi Warna Merah

Proses penyortiran diawali dengan pembacaan berat objek menggunakan sensor loadcell dan modul HX711. Ketika berat terukur mencapai batas minimal 5 gram, ESP32 menyimpan nilai tersebut dalam variabel beratTersimpan sebagai referensi klasifikasi selama satu siklus. Selanjutnya, servo pendorong memindahkan objek dari wadah penimbangan menuju conveyor.

Berdasarkan source code prototipe, pembacaan berat dilakukan sebanyak lima kali dengan jeda program 50 ms untuk memperoleh nilai rata-rata. Servo pendorong diberi perintah menuju posisi 20° dan kemudian posisi 180°, dengan jeda program masing-masing 500 ms dan 200 ms. Pengendalian aktuator pengarah dilakukan setelah aturan klasifikasi menentukan kategori keluaran. Parameter jeda program tersebut menjelaskan urutan kendali yang digunakan dalam implementasi, tetapi tidak merepresentasikan hasil pengukuran waktu respons mekanis maupun throughput aktual prototipe.

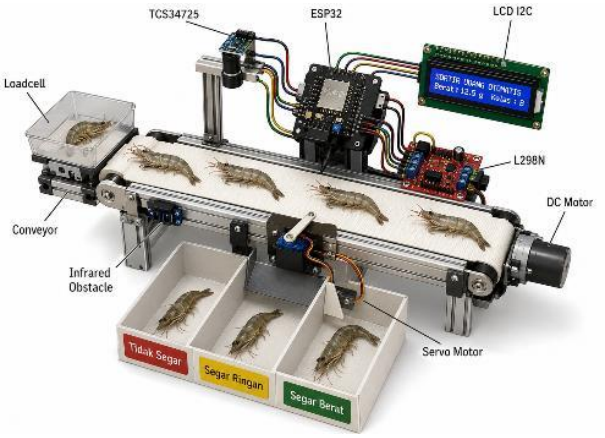
Ketika objek mencapai titik deteksi infrared obstacle, sistem melakukan pembacaan nilai RGB menggunakan sensor TCS34725. Nilai RGB digunakan untuk menghitung proporsi kanal merah. Apabila proporsi merah lebih besar dari 0,40, objek dikategorikan sebagai kelompok warna merah. Apabila proporsi tersebut tidak melebihi 0,40, klasifikasi dilanjutkan berdasarkan berat tersimpan, yaitu kelompok nonmerah berat untuk berat lebih dari 15 gram dan kelompok nonmerah ringan untuk berat hingga 15 gram.

Berdasarkan hasil klasifikasi, ESP32 mengaktifkan servo jalur yang sesuai untuk mengarahkan objek ke keluaran penyortiran. Data hasil pengukuran kemudian dikirimkan ke server melalui HTTP POST untuk dicatat dan ditampilkan pada web monitoring. Setelah proses selesai, sistem mengembalikan aktuator dan status operasional ke keadaan awal untuk memproses objek berikutnya. Mekanisme ini menggunakan satu objek aktif per siklus tanpa sistem antrean objek.

Pembacaan proporsi kanal merah dilakukan tanpa model koreksi warna berbasis sampel referensi yang terdokumentasi. Parameter jarak aktual sensor terhadap permukaan udang, intensitas pencahayaan lingkungan, serta pengaruh pantulan permukaan basah belum tercatat secara kuantitatif. Oleh karena itu, reproduksibilitas pengukuran warna masih dibatasi oleh informasi konfigurasi perangkat lunak dan memerlukan protokol kalibrasi optik yang lebih terstandar pada pengembangan berikutnya.

E. Rancangan Prototipe

Prototipe dibangun dengan jalur conveyor sebagai media transportasi utama. Sistem memiliki tiga jalur keluaran sesuai kategori klasifikasi. Integrasi sensor, ESP32, aktuator, dan web monitoring diwujudkan dalam satu unit prototipe.



Gambar 3. Prototipe Sistem Sortir Udang Vaname Otomatis

Jurnal Elektrika Vol. 18 No. 2 2026 P-ISSN 2085-0565 | E-ISSN 2580-8486
Received 29 Mei 2026, Revised 25 Oct 2026, Accepted 27 Oct 2026
DOI 10.26623/elektrika.v18i2.14658

F. Rancangan Pengujian

Pengujian prototipe dilakukan sebagai evaluasi fungsional awal terhadap pembacaan sensor, penerapan aturan klasifikasi, pengendalian aktuator, dan pencatatan data pada sistem monitoring. Dokumentasi penelitian melaporkan 20 kali pengujian untuk masing-masing komponen utama dan mekanisme penyortiran. Namun, rekaman data individual, jumlah objek unik, distribusi kategori sampel, dan pengukuran pembanding yang independen tidak terdokumentasi secara lengkap. Oleh karena itu, persentase keberhasilan yang dilaporkan dalam penelitian ini dinyatakan sebagai tingkat kesesuaian terhadap kriteria pengujian internal. Nilai tersebut belum dapat digunakan sebagai estimasi akurasi pengukuran berat atau klasifikasi kesegaran terhadap kondisi sebenarnya.

TABEL III
SKENARIO PENGUJIAN SISTEM

No	Pengujian	Indikator yang Dievaluasi
1	Loadcell	Kesesuaian fungsi pembacaan berat dengan kriteria internal
2	TCS34725	Kesesuaian keluaran klasifikasi warna dengan kriteria internal
3	Infrared obstacle	Deteksi keberadaan objek saat pengujian
4	Servo	Kesesuaian jalur fisik dengan keputusan ESP32
5	Web monitoring	Keberhasilan pengiriman dan penampilan data

tingkat kesesuaian pengujian (K):

$$K = \frac{N_{\text{sesuai}}}{N_{\text{pengujian}}} \times 100\% \qquad (2)$$

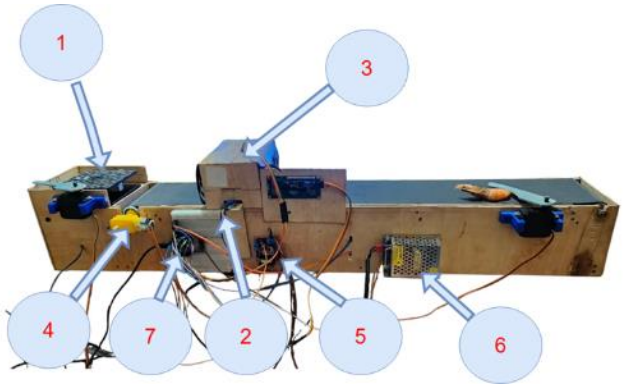
N_{sesuai} adalah jumlah percobaan yang dilaporkan memenuhi kriteria pengujian internal, sedangkan $N_{\text{pengujian}}$ adalah jumlah keseluruhan percobaan yang dilakukan.

Penggunaan istilah tingkat kesesuaian dimaksudkan untuk membedakan pengujian fungsi prototipe dari pengukuran akurasi terhadap nilai atau kelas referensi independen.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

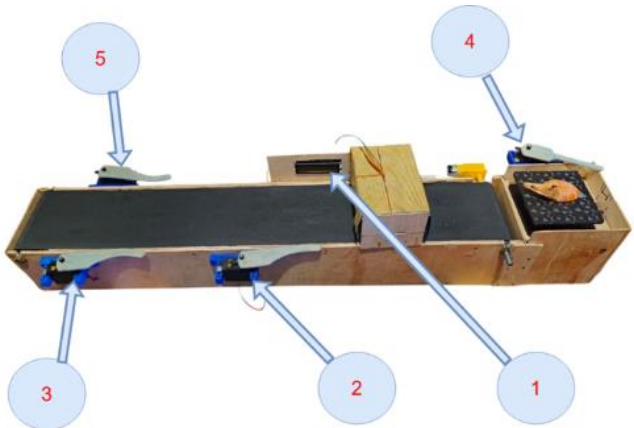
A. Implementasi Prototipe Sistem

Implementasi prototipe dilakukan dengan mengintegrasikan komponen sensor, mikrokontroler, aktuator, dan sistem tampilan lokal ke dalam satu sistem sortir udang vaname otomatis. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, loadcell dengan modul HX711 untuk membaca berat udang, sensor warna TCS34725 untuk membaca karakteristik warna permukaan udang, sensor *infrared obstacle* untuk mendeteksi keberadaan udang pada jalur *conveyor*, serta motor servo untuk mengarahkan udang ke jalur sortir yang sesuai. Struktur fisik prototipe dirancang menggunakan jalur *conveyor* sebagai media transportasi udang dari titik penimbangan menuju titik deteksi dan pemilahan. Prototipe mengintegrasikan pengukuran berat, pembacaan karakteristik RGB permukaan, pendeteksian objek, dan pengendalian aktuator dalam satu mekanisme penyortiran berurutan.



Gambar 4. Implementasi Prototipe Sistem Sortir Udang Vaname Otomatis Tampak Depan

Gambar 4 menunjukkan implementasi prototipe sistem sortir udang vaname otomatis dari sisi utama. Udang diletakkan pada area loadcell (1) untuk dilakukan pengukuran berat. Selanjutnya, udang bergerak melalui jalur *conveyor* dan dideteksi oleh sensor *infrared obstacle* (2) untuk memastikan objek telah berada pada posisi deteksi. Sensor warna TCS34725 (3) digunakan untuk membaca nilai warna permukaan udang sebagai dasar identifikasi kualitas visual. Motor servo pendorong (4) membantu memindahkan udang dari area timbang ke jalur *conveyor*. Pergerakan *conveyor* dikendalikan oleh driver motor L298N (5), sedangkan catu daya (6) berfungsi memasok energi ke rangkaian. Seluruh proses dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 (7) yang memproses data sensor dan mengaktifkan aktuator sesuai hasil klasifikasi.



Gambar 5. Implementasi Prototipe Sistem Sortir Udang Vaname Otomatis Tampak Samping

Gambar 5 menunjukkan sisi lain dari prototipe, khususnya bagian tampilan lokal dan mekanisme aktuator pada jalur sortir. LCD I2C (1) digunakan untuk menampilkan informasi sistem, seperti berat udang, status sensor, dan hasil klasifikasi. Servo pada jalur sortir digunakan untuk mengarahkan udang ke keluaran yang sesuai berdasarkan keputusan ESP32. Dalam rancangan ini, servo (2) digunakan untuk jalur udang segar ringan, servo (3) untuk jalur udang segar berat, servo (4) sebagai pendorong dari area penimbangan ke *conveyor*, dan servo (5) untuk jalur udang tidak segar. Mekanisme

ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya membaca data sensor, tetapi juga melakukan aksi pemilahan secara fisik melalui aktuator. Keempat motor servo menjalankan fungsi pemindahan objek dari area penimbangan serta pengarahan objek menuju tiga jalur keluaran sesuai keputusan klasifikasi berbasis berat dan proporsi warna yang diproses oleh ESP32.

Secara umum, implementasi prototipe menunjukkan bahwa sistem telah mampu menggabungkan fungsi pembacaan berat, pembacaan warna, deteksi keberadaan objek, dan pengendalian aktuator dalam satu alur kerja otomatis. Udang diproses dari titik awal, dibaca oleh sensor, diklasifikasikan oleh ESP32, kemudian diarahkan ke jalur keluaran sesuai kategori. Dengan demikian, sistem ini menjadi dasar implementasi untuk pengujian input-output, pengujian sensor, dan evaluasi hasil sortir yang dibahas pada subbagian berikutnya.

B. Implementasi Web Monitoring

Sistem web monitoring diimplementasikan menggunakan mekanisme pengiriman data HTTP POST dari ESP32 menuju endpoint PHP. Data yang dikirimkan meliputi berat tersimpan, proporsi kanal merah, dan status infrared. Server memproses permintaan tersebut dan mencatat data beserta waktu pencatatan pada basis data MySQL untuk ditampilkan melalui dashboard. Penelitian ini mendokumentasikan fungsi komunikasi dan penyajian data, tetapi belum melakukan pengukuran kuantitatif terhadap latensi transmisi maupun latensi tampilan. Selain itu, ketahanan terhadap kehilangan koneksi, mekanisme autentikasi perangkat, dan pengamanan transport data belum dievaluasi sebagai bagian dari pengujian penelitian.

Gambar 6 menunjukkan dashboard monitoring yang menampilkan pembacaan berat, kategori hasil aturan klasifikasi, status deteksi infrared, dan riwayat proses. Label “segar” dan “tidak segar” yang terlihat pada antarmuka merupakan terminologi dari implementasi prototipe awal. Dalam penelitian ini, label tersebut ditafsirkan sebagai keluaran keputusan berbasis berat dan proporsi warna merah, bukan sebagai hasil penilaian kesegaran biologis yang tervalidasi. Pencatatan data berfungsi mendukung penelusuran riwayat pembacaan dan pemrosesan objek.

Gambar 6. Tampilan Dashboard *Web Monitoring* Sistem Sortir Udang

Implementasi *web monitoring* ini mendukung proses pengawasan hasil sortir secara lebih transparan karena setiap data hasil klasifikasi tersimpan dan dapat ditelusuri kembali. Dengan demikian, sistem tidak hanya menghasilkan pemilahan fisik melalui jalur sortir, tetapi juga menghasilkan data historis yang dapat digunakan untuk evaluasi operasional, pemantauan jumlah hasil sortir, dan analisis performa sistem.

C. Pengujian Input-Output Klasifikasi

Pengujian input-output dilakukan untuk memeriksa kesesuaian keluaran program dengan aturan klasifikasi yang diimplementasikan pada ESP32. Pengujian ini merupakan pemeriksaan logika keputusan, bukan pengukuran akurasi klasifikasi terhadap label referensi independen.

Parameter warna dinyatakan dalam proporsi kanal merah yang dihitung dari nilai RGB. Apabila proporsi merah lebih besar dari 0,40, sistem memilih jalur kelompok warna merah tanpa mempertimbangkan kategori berat. Apabila nilai tersebut tidak melebihi 0,40, keputusan ditentukan berdasarkan berat tersimpan, yaitu kelompok nonmerah ringan untuk berat hingga 15 gram dan kelompok nonmerah berat untuk berat lebih dari 15 gram.

Tabel 4 menyajikan enam contoh hasil pembacaan dan keluaran yang terdokumentasi dalam penelitian awal. Kategori pada tabel merepresentasikan keputusan operasional program dan tidak dapat digunakan untuk memastikan kondisi kesegaran biologis sampel.

TABEL IV
CONTOH KELUARAN ATURAN KLASIFIKASI PADA PROTOTIPE

No.	Berat (g)	Kategori Warna Terdokumentasi	Keluaran Operasional
1	17,2	Nonmerah	Nonmerah berat
2	12,5	Nonmerah	Nonmerah ringan
3	8,1	Merah	Kelompok warna merah
4	5,0	Nonmerah	Nonmerah ringan
5	82,79	Nonmerah	Nonmerah berat
6	99,5	Merah	Kelompok warna merah

Kategori warna pada tabel mengikuti hasil pengelompokan yang terdokumentasi pada prototipe. Nilai proporsi RGB individual tidak tersedia, sehingga tabel ini tidak digunakan untuk mengevaluasi ketepatan threshold sensor secara independen.

Beberapa dokumentasi menampilkan nilai pembacaan berat yang relatif tinggi, termasuk 82,79 gram dan sekitar 99,5 gram. Nilai-nilai tersebut merupakan pembacaan yang tercantum dalam dokumentasi prototipe, tetapi belum tersedia pengukuran pembanding yang memungkinkan verifikasi akurasi massa maupun kepastian bahwa seluruh pembacaan merepresentasikan satu individu udang. Karena itu, nilai tersebut tidak digunakan

Jurnal Elektrika Vol. 18 No. 2 2026 P-ISSN 2085-0565 | E-ISSN 2580-8486
Received 29 Mei 2026, Revised 25 Oct 2026, Accepted 27 Oct 2026
DOI 10.26623/elektrika.v18i2.14658

sebagai dasar generalisasi karakteristik berat udang vaname. Evaluasi berikutnya memerlukan pencatatan identitas sampel dan pengukuran massa menggunakan timbangan referensi.

Gambar 7. Dokumentasi Tampilan LCD dan Label Klasifikasi pada Prototipe Awal

Gambar 7 menunjukkan tampilan LCD I2C sebagai media penyajian lokal hasil pembacaan dan keputusan klasifikasi sistem. Dokumentasi Gambar 7 memperlihatkan label klasifikasi yang ditampilkan oleh program asli, termasuk "Udang Segar" dan "Udang Tidak Segar". Label tersebut merupakan keluaran dari aturan yang diterapkan pada ESP32. Karena pengujian kesegaran independen tidak tersedia, tampilan LCD ini hanya digunakan sebagai bukti implementasi antarmuka lokal dan bukan sebagai bukti bahwa kesegaran objek telah diklasifikasikan dengan benar.

D. Pengujian Sensor dan Aktuator

Pengujian sensor dan aktuator dilakukan untuk mengevaluasi fungsi dasar setiap komponen dalam proses penyortiran. Berdasarkan dokumentasi penelitian awal, pengujian mencakup pembacaan berat oleh loadcell, klasifikasi karakteristik warna oleh TCS34725, pendeteksian objek oleh infrared obstacle, serta kesesuaian gerakan servo terhadap keputusan ESP32. Setiap kelompok pengujian dilaporkan terdiri atas 20 percobaan. Rekapitulasi jumlah hasil yang memenuhi kriteria internal serta jumlah ketidaksesuaian ditampilkan pada Tabel 5. Persentase hasil pengujian ini tidak digunakan sebagai bukti akurasi pengukuran maupun kesegaran yang telah tervalidasi secara independen.

TABEL V
REKAPITULASI KESESUAIAN PENGUJIAN FUNGSIONAL AWAL PROTOTIPE

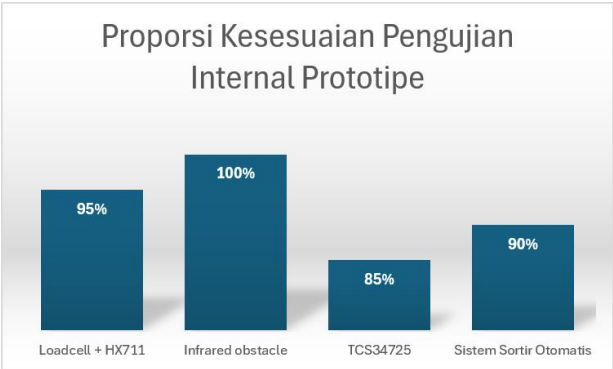
Komponen	Percobaan	Sesuai	Tidak Sesuai	Kesesuaian
Loadcell + HX711	20	19	1	95%
Infrared obstacle	20	20	0	100%
TCS34725	20	17	3	85%
Mekanisme sortir	20	18	2	90%

Persentase menunjukkan proporsi pengujian yang dilaporkan memenuhi kriteria internal prototipe. Ukuran tersebut berbeda dari akurasi pengukuran berat terhadap timbangan referensi maupun akurasi klasifikasi kesegaran terhadap label referensi independen. Kriteria kuantitatif dan data individual pengujian tidak seluruhnya tersedia.

Berdasarkan rekapitulasi 20 percobaan, sensor loadcell menghasilkan 19 pengujian yang dilaporkan sesuai dengan kriteria internal, infrared obstacle menghasilkan 20 pengujian sesuai, dan sensor TCS34725 menghasilkan 17 pengujian sesuai. Sementara itu, mekanisme penyortiran fisik menghasilkan 18 proses yang sesuai dengan keputusan klasifikasi sistem.

Persentase pada masing-masing komponen tidak dapat langsung dibandingkan sebagai ukuran akurasi yang setara karena setiap komponen menjalankan fungsi pengukuran yang berbeda. Khusus untuk loadcell, belum tersedia pasangan data antara berat sensor dan timbangan referensi untuk menghitung kesalahan pengukuran seperti Mean Absolute Error (MAE). Pada sensor TCS34725, belum tersedia label kesegaran independen untuk menghitung confusion matrix, precision, recall, maupun F1-score.

Tingkat kesesuaian mekanisme sortir sebesar 90% menunjukkan keberhasilan aktuator dalam mengikuti keputusan internal ESP32, bukan akurasi klasifikasi akhir terhadap kondisi objek sebenarnya.



Gambar 8. Proporsi Kesesuaian Pengujian Fungsional Awal

Gambar 8 menyajikan proporsi kesesuaian hasil pengujian fungsional awal untuk empat komponen sistem. Persentase tersebut dihitung berdasarkan kriteria operasional internal masing-masing komponen. Karena tugas, karakteristik pengukuran, dan acuan keberhasilannya berbeda, nilai pada grafik tidak ditafsirkan sebagai peringkat akurasi antarsensor. Hasil ini hanya

memberikan gambaran awal mengenai fungsi komponen prototipe berdasarkan dokumentasi pengujian yang tersedia.

E. Pembahasan Hasil Pengujian

Evaluasi awal menunjukkan bahwa prototipe mampu mengintegrasikan pembacaan berat, pengukuran proporsi warna merah, deteksi keberadaan objek, pengendalian aktuator, dan pencatatan data berbasis web dalam satu mekanisme penyortiran berurutan. Implementasi state machine memungkinkan nilai berat disimpan sebelum objek dipindahkan menuju titik deteksi infrared dan pembacaan warna. Mekanisme ini menunjukkan integrasi fungsional antara sensor dan aktuator, meskipun belum dievaluasi untuk pemrosesan beberapa objek secara bersamaan.

Hasil pengujian internal menunjukkan proporsi kesesuaian sebesar 95% pada loadcell, 100% pada infrared obstacle, 85% pada TCS34725, dan 90% pada mekanisme sortir. Namun, angka tersebut tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan akurasi klasifikasi kesegaran atau kinerja end-to-end terhadap kelas referensi sebenarnya. Klasifikasi warna menggunakan ambang proporsi merah sebesar 0,40 yang ditetapkan sebagai parameter program, sementara penilaian kesegaran secara independen belum tersedia. Selain itu, validasi pengukuran massa terhadap timbangan acuan belum terdokumentasi sehingga kesalahan pengukuran absolut belum dapat dihitung.

Dibandingkan dengan penelitian Ulum dkk. [1] yang melaporkan kinerja sistem sortir berbasis pengolahan citra, penelitian ini menggunakan pendekatan sensor berat dan warna dengan keputusan berbasis aturan. Akan tetapi, persentase keberhasilan mekanisme sortir pada penelitian ini tidak dapat dibandingkan langsung dengan akurasi pengolahan citra pada penelitian terdahulu karena perbedaan tugas, sampel, dan definisi keberhasilan. Oleh karena itu, penelitian ini tidak mengklaim peningkatan akurasi terhadap metode sebelumnya.

Penelitian Fitasari dan Irawan [15] mengembangkan prototipe penyortiran tomat yang mengintegrasikan sensor warna TCS34725, sensor jarak HCSR04, ESP32-CAM, serta metode fuzzy logic. Penelitian tersebut melaporkan 11 keberhasilan dari 12 percobaan atau sebesar 91,67% berdasarkan kriteria klasifikasi yang digunakan. Berbeda dari pendekatan tersebut, penelitian ini menggunakan pengukuran berat melalui loadcell dan proporsi kanal merah dari TCS34725 dengan aturan keputusan deterministik untuk mengarahkan objek ke tiga jalur sortir. Meski demikian, nilai keberhasilan kedua penelitian tidak dapat dibandingkan secara langsung karena perbedaan objek, kategori keluaran, kriteria evaluasi, dan rancangan pengujian. Kedua penelitian menunjukkan penerapan integrasi sensor dalam otomasi penyortiran, tetapi tidak dapat dijadikan bukti bahwa proporsi warna merah merupakan indikator kesegaran udang yang tervalidasi.

Kontribusi utama penelitian terletak pada dokumentasi implementasi prototipe yang menggabungkan mekanisme penimbangan, pembacaan warna, pemilihan jalur, dan pencatatan hasil. Keterbatasan utama mencakup jumlah pengujian yang masih kecil, belum tersedianya data individual dan label referensi independen, tidak adanya evaluasi ketidakpastian pengukuran, serta belum dilakukannya pengujian throughput, latensi komunikasi, dan performa terhadap proses sortir manual. Temuan ini menjadi dasar bagi pengembangan dan pengujian lanjutan yang lebih terstruktur.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini telah mengimplementasikan prototipe sistem sortir udang vaname otomatis berbasis Internet of Things menggunakan integrasi loadcell, sensor warna TCS34725, infrared obstacle, ESP32, conveyor, aktuator servo, dan web monitoring. Sistem menerapkan mekanisme klasifikasi berbasis aturan yang menggabungkan proporsi kanal merah dari pembacaan RGB dengan pengelompokan berat untuk menentukan tiga jalur keluaran.

Pengujian fungsional awal sebanyak 20 kali menunjukkan tingkat kesesuaian terhadap kriteria internal sebesar 95% pada loadcell, 100% pada infrared obstacle, 85% pada sensor TCS34725, serta 90% pada mekanisme pemilahan fisik. Hasil tersebut menggambarkan kemampuan operasional awal prototipe, tetapi belum menunjukkan akurasi pengukuran maupun klasifikasi kesegaran yang tervalidasi secara independen. Sistem juga telah mengimplementasikan pengiriman dan pencatatan data melalui web monitoring, meskipun latensi komunikasi dan keandalan jaringan belum diukur secara kuantitatif.

Penelitian ini menunjukkan kelayakan implementasi fungsional sistem sortir berbasis sensor dan aktuator terintegrasi. Namun, jumlah pengujian yang terbatas, tidak tersedianya label kesegaran referensi, serta belum dilakukannya evaluasi kesalahan pengukuran massa membatasi interpretasi performa. Dengan demikian, hasil penelitian diposisikan sebagai evaluasi awal prototipe yang masih memerlukan validasi eksperimental lanjutan sebelum digunakan untuk penilaian kesegaran atau penyortiran operasional yang menuntut ketelitian tinggi.

B. Saran

Pengembangan selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi klasifikasi warna terhadap penilaian kesegaran referensi yang independen, misalnya penilaian organoleptik terstandar dan/atau pengujian mutu yang relevan. Pengujian perlu melibatkan sampel

Jurnal Elektrika Vol. 18 No. 2 2026 P-ISSN 2085-0565 | E-ISSN 2580-8486
Received 29 Mei 2026, Revised 25 Oct 2026, Accepted 27 Oct 2026
DOI 10.26623/elektrika.v18i2.14658

dengan identitas unik, variasi kondisi penyimpanan, serta pembagian kategori yang terdokumentasi agar confusion matrix dan metrik klasifikasi dapat dihitung secara tepat. Selain itu, pengukuran loadcell perlu dibandingkan dengan timbangan referensi untuk memperoleh nilai kesalahan pengukuran. Pengujian sistem juga perlu diperluas untuk mengevaluasi throughput, keterlambatan transmisi data, ketahanan terhadap gangguan jaringan, serta perbandingan kinerja dengan proses sortir manual dan konfigurasi berbasis sensor tunggal. Penyempurnaan mekanisme sinkronisasi dan keamanan komunikasi perlu dipertimbangkan sebelum implementasi operasional.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Ulum, K. Aji Wibisono, H. Haryanto, R. Alfita, and A. Kurniawan Saputra, "Design and Build a Vaname Shrimp Sorting System Based on Image Processing," *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, vol. 6, no. 2, pp. 143–152, 2022, doi: 10.21070/jeeeu.v6i2.1639.

[2] S. P. Utari and W. W. Purnomo, "Penerapan GMP dan Organoleptik Bahan Baku Pada Pembekuan Udang Vannamei Bentuk CPDTO (Cooked Peeled Deviened Tail) Situbondo – Jawa Timur," *Jurnal Vokasi Ilmu-Ilmu Perikanan (Jvip)*, vol. 4, no. 1, pp. 01, 2023, doi: 10.35726/jvip.v4i1.1981.

[3] A. Zamzami, O. Fransisco, Irwan, and M. I. Nugraha, "Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Internet Of Things (IOT)," *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, pp. 1-7, 2021.

[4] H. A. Yanti, D. A. Putri, and S. Z. Fajriyah, "Simulasi Sistem Monitoring Oksigen Terlarut (DO) Pada Budidaya Udang Vaname Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Journal of Informatics and Communication Technology (JICT)*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2023, doi: 10.52661/j_ict.v5i1.156.

[5] S. Rachmatullah *et al.*, "Penerapan Monitoring Suhu Air Tambak Pada Budidaya Udang Vanami Berbasis Internet of Things," *NGABDIMAS UNIRA*, vol. 4, no. 2, pp. 8, Oct. 2024, doi: 10.53712/ngu.v4i2.2552.

[6] B. Setiawan and N. Surantha, "Penerapan Quality Function Deployment (QFD) pada Desain Smart Aquaculture untuk Sektor Tambak Udang Vaname Berbasis IoT," *Journal of Information System Research (JOSH)*, vol. 4, no. 2, pp. 522–531, 2023, doi: 10.47065/josh.v4i2.2806.

[7] X. Chen *et al.*, "A Real-Time Shrimp with and without Shells Recognition Method for Automatic Peeling Machines Based on Tactile Perception," *Agriculture*, vol. 13, no. 2, 2023, doi: 10.3390/agriculture13020422.

[8] W. Pratama, "Alat Sortir Udang Vaname (Litopenaeus vannamei) Berdasarkan Berat Berbasis Sensor Load Cell," Aug. 2023. [Online]. Available: https://repository.itera.ac.id/depan/submission/SB2308160015

[9] Y. Ramdani, "Pengembangan Sistem Otomasi Penyortiran Produk Berdasarkan Warna Berbasis Single Board Computer," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV*, pp. 1–8, 2024.

[10] I. Sulistiyowati, H. M. Ichsan, and I. Anshory, "Object Sorting Conveyor with Detection Color Using ESP-32 Camera Python Based on Open-CV," *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, vol. 9, no. 1, pp. 61–68, 2024, doi: 10.54732/jeecs.v9i1.7.

[11] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2728:2018: Udang Segar," 2018, *Jakarta, Indonesia*.

[12] S. Liu *et al.*, "Effect of Freeze–Thaw Cycles on the Freshness of Prepackaged Penaeus vannamei," *Foods*, vol. 13, no. 2, Art. no. 305, Jan. 2024, doi: 10.3390/foods13020305.

[13] M. Octaria and Muhammad Irwan Padli Nasution, "Peluang dan Tantangan Penerapan Internet of Things (IoT) dalam Sistem Informasi Manajemen," *Switch : Jurnal Sains dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 3, pp. 56–62, 2024, doi: 10.62951/switch.v2i3.86.

[14] A. Yudha and T. Febriani Jesica Puri, "Prototype Sistem Parkir Berbasis IoT Menggunakan ESP32, Sensor Infrared, dan Firebase dengan Integrasi Kamera," *Elektrika*, vol. 18, no. 1, pp. 1–8, Apr. 2026, doi: 10.26623/elektrika.v18i1.12798.

[15] R. N. Fitasari and D. Irawan, "Prototype of Tomato Fruit Sorting Based on Color Based on Esp32-Cam with Fuzzy Logic Method," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, vol. 12, no. 1, pp. 21–26, May 2025, doi: 10.21107/triac.v12i1.29981.

[16] I. G. B. W. Atmaja, K. N. A. Kusuma, A. A. E. Wirayuda, I. K. Widiantara, N. Premadhipa, and G. S. Mahendra, "Penerapan Metode Prototype pada Perancangan Sistem Informasi Pengaduan Masyarakat Buleleng Berbasis Website," *RESI: Jurnal Riset Sistem Informasi*, vol. 1, no. 2, pp. 56–65, 2023, doi: 10.32795/resi.v1i2.3553.