

RANCANG BANGUN SISTEM KUALITAS TELUR AYAM RAS BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK TRANSFORMASI DIGITAL PETERNAKAN

Sylvia Delfi Mardiana Putri, Yulkifli*, Mona Berlian Sari, Malikil Kudus Sussalam

Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

*Corresponding author: yulkifliamir@fmipa.unp.ac.id

Abstrak: Kualitas telur ayam ras merupakan faktor penting yang menentukan nilai jual dan daya saing produk peternakan. Namun, metode pengujian yang umum digunakan masih bersifat manual dan destruktif, sehingga kurang efisien untuk skala besar. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pendeteksi kualitas telur berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan sensor non-destruktif yang terintegrasi model *machine learning*. Sistem *prototype* dibangun menggunakan sensor berat, cahaya, dan warna yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32, dengan hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD dan dikirimkan secara *real-time* ke platform IoT. Nilai *Haugh Unit* (HU) digunakan sebagai acuan untuk melatih model klasifikasi, di mana algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) menunjukkan performa terbaik. Hasil penelitian memperlihatkan sistem mampu mencapai akurasi 89% dalam prediksi HU, sehingga berpotensi digunakan sebagai solusi non-destruktif dalam klasifikasi mutu telur pada skala industri peternakan.

Kata Kunci: Kualitas telur, *Internet of Things*, Sensor non-destruktif, *Machine learning*, *Haugh Unit*

Abstract: Egg quality is a crucial factor influencing the market value and competitiveness of poultry products. However, conventional testing methods are still mostly manual and destructive, making them inefficient for large-scale applications. This study aims to design an *Internet of Things* (IoT)-based egg quality detection system using non-destructive sensors integrated with a machine learning model. The prototype system was developed with weight, light, and color sensors controlled by an ESP32 microcontroller, with measurement results displayed on an LCD and transmitted in real-time to an IoT platform. The *Haugh Unit* (HU) was used as a reference for training and validating the classification model, where the *K-Nearest Neighbors* (KNN) algorithm achieved the best performance. Experimental results show that the system reached 89% accuracy in HU prediction, indicating its potential as a non-destructive solution for classifying egg quality in poultry industries.

Keywords: Egg quality, *Internet of Things*, Non-destructive sensors, *Machine learning*, *Haugh Unit*

PENDAHULUAN

Telur ayam ras merupakan salah satu komoditas pangan yang paling banyak dikonsumsi di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Pertanian (2023), konsumsi per kapita telur ayam ras pada tahun 2023 mencapai 21,10 kg/kapita dengan tren peningkatan 3,01% per tahun sejak 2017. Tren ini menunjukkan bahwa telur berperan penting sebagai sumber protein hewani dan bagian dari ketahanan pangan nasional. Namun, meningkatnya permintaan juga menuntut adanya jaminan kualitas dan keamanan produk yang lebih baik agar sesuai dengan standar konsumsi masyarakat.

Penilaian kualitas telur secara umum masih dilakukan dengan metode manual dan destruktif, misalnya pengukuran *Haugh Unit* (HU) melalui pemecahan telur. Metode ini dapat memberikan informasi kesegaran albumin, tetapi tidak praktis untuk skala industri karena bersifat merusak, memerlukan waktu, serta menyebabkan telur tidak dapat dipasarkan kembali (Febria, Garnida,

Asmara, & Hidayat, 2022). Padahal, kualitas telur sangat ditentukan oleh parameter internal seperti kesegaran telur, serta parameter eksternal seperti berat, warna kerabang, dan kondisi cangkang (Worang, Sondakh, Palar, Rumondor, & Wahyuni, 2022).

Sejalan dengan perkembangan teknologi, pendekatan berbasis Internet of Things (IoT) semakin banyak diterapkan untuk monitoring mutu produk pangan. IoT memungkinkan integrasi sensor dengan sistem berbasis cloud sehingga data dapat dipantau secara *real-time* dan digunakan untuk analisis jangka panjang (Khanna & Kaur, 2020; Wulandari & Afriyanto, 2023). Penelitian terdahulu telah mengembangkan berbagai prototipe, seperti deteksi mutu telur dengan sensor cahaya berbasis Arduino Uno (Jalil & Hidayat, 2024) atau sistem sortir telur berdasarkan berat menggunakan *Load Cell* (Andri, 2022). Namun, kebanyakan penelitian masih berfokus pada satu atau dua parameter kualitas dan belum memanfaatkan pendekatan analitik komprehensif berbasis *machine learning*. Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam pengembangan sistem monitoring terbukti mampu meningkatkan efisiensi pengambilan data secara *real-time* sekaligus mempermudah akses informasi bagi pengguna (Nofriandi, Yulkifli, Asrizal, & Sati'at, 2024).

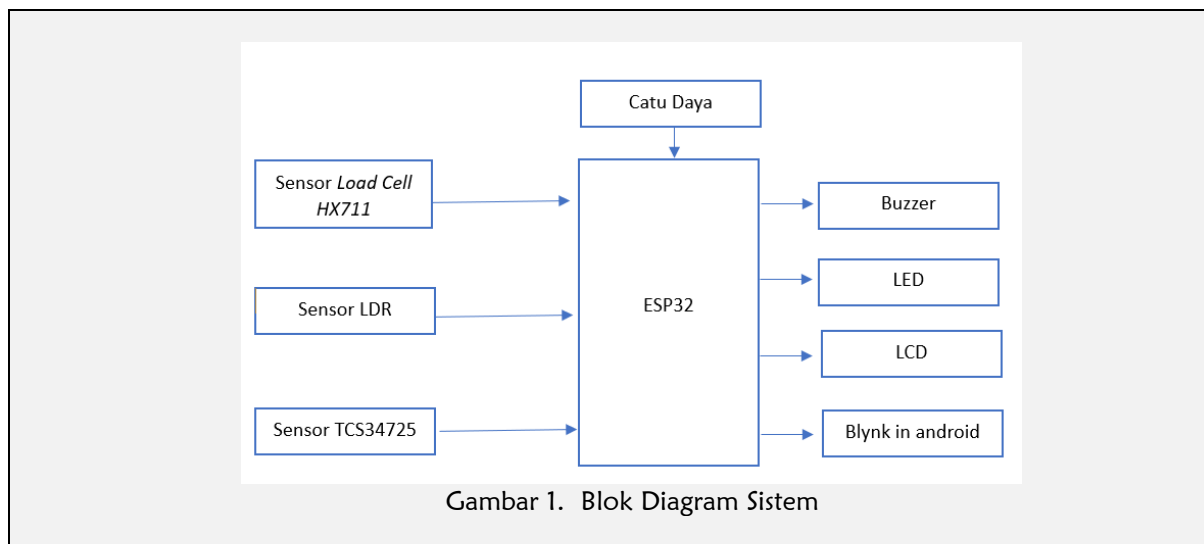
Machine learning sendiri telah terbukti meningkatkan akurasi klasifikasi dalam berbagai bidang pangan, termasuk pengolahan citra telur dan deteksi mutu berbasis sensor (Wang et al., 2019). Dalam konteks ini, algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) dikenal efektif untuk klasifikasi berbasis data multidimensi dengan tingkat kesalahan yang rendah (Zhang, Zhang, & Du, 2018). Oleh karena itu, penggabungan sensor non-destruktif dengan model *machine learning* berbasis IoT dapat menjadi solusi inovatif untuk klasifikasi mutu telur secara cepat, efisien, dan non-destruktif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem deteksi kualitas telur ayam ras berbasis IoT menggunakan tiga sensor utama, yaitu *Load Cell*/HX711 untuk mengukur berat, LDR untuk intensitas cahaya, dan TCS34725 untuk warna kerabang. Data hasil sensor dianalisis menggunakan algoritma KNN dengan nilai *Haugh Unit* sebagai acuan validasi. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi peternakan digital dengan menghadirkan metode klasifikasi mutu telur yang lebih akurat, praktis, dan dapat diimplementasikan dalam skala industri.

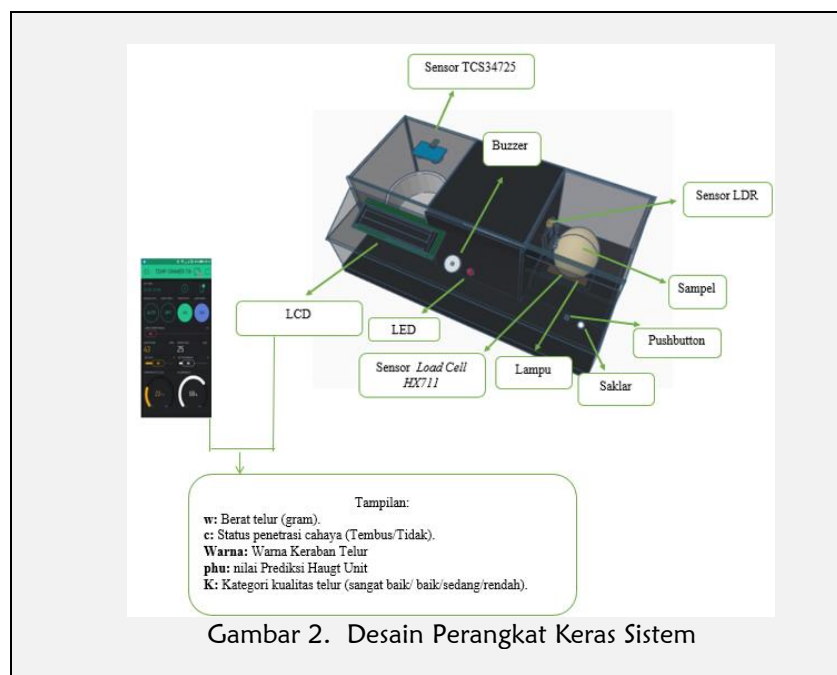
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, Universitas Negeri Padang, dengan sampel berupa 190 butir telur ayam ras yang diperoleh dari distributor di Pasar Raya, Padang. Sampel diambil secara acak, terdiri dari 160 butir sebagai training set dan 30 butir sebagai testing set untuk pengembangan model machine learning.

Jenis penelitian ini adalah penelitian rekayasa (*engineering research*) yang berfokus pada perancangan dan pengujian *prototype* Kirkup (2019). Penelitian rekayasa dimulai dari proses menghasilkan ide dan memperjelas konsep, kemudian dilanjutkan dengan konseptualisasi desain, pengaturan geometri, fungsionalitas, perancangan detail, pembuatan model/perangkat, hingga tahap pengujian. Luaran dari penelitian ini adalah rancang bangun sistem kualitas telur berbasis *internet of things* untuk transformasi digital peternakan. Prosedur penelitian ini diawali dengan penentuan ide dan klarifikasi tugas, perancangan konseptual, pengaturan geometri fungsional, desain detail, pembuatan perangkat, hingga pengujian ide dan perumusan tugas penelitian diperoleh melalui kajian literatur terkait kualitas telur ayam ras, teknologi sensor non-destruktif, serta penerapan *Internet of Things* (IoT) dan *machine learning* dalam bidang pangan dan peternakan. Susunan sistem dan geometri dirancang dalam bentuk diagram blok, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

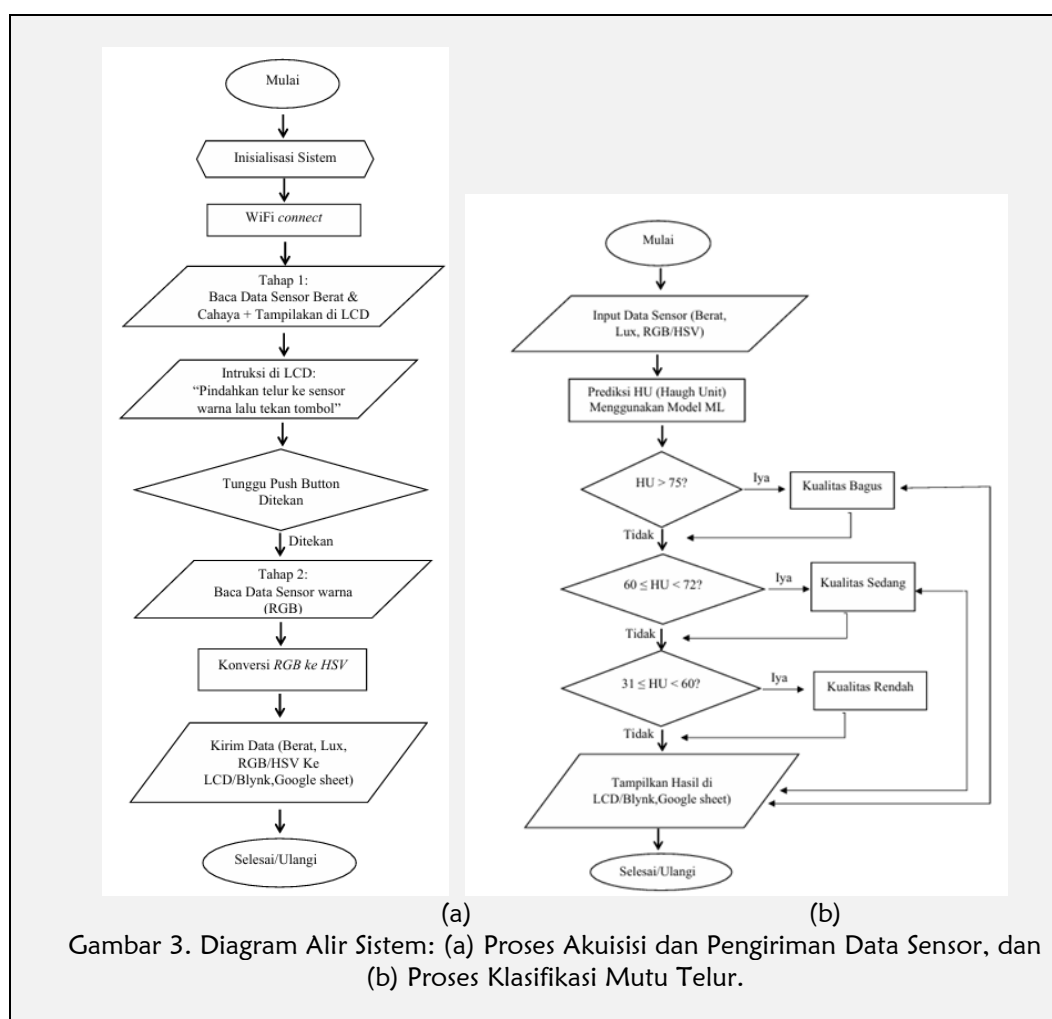


Pada Gambar 1 ditunjukkan sistem pengukuran kualitas telur ayam ras berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terdiri dari sumber daya listrik, sensor *Load Cell* HX711, sensor LDR, dan sensor warna TCS34725. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data (otak sistem). Hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD, dilengkapi buzzer dan LED sebagai indikator, serta dikirimkan ke platform IoT (Blynk dan Google Spreadsheet) untuk pemantauan secara *real-time*. Detail dari rancangan sistem ini melibatkan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras mencakup komponen fisik berupa sensor, aktuator, dan prototipe rangkaian. Sedangkan perangkat lunak digunakan untuk mengendalikan jalannya sistem, termasuk pemrograman mikrokontroler dan integrasi dengan platform IoT. Pada penelitian Yulkifli et al. (2024) menunjukkan bahwa sistem berbasis IoT dengan integrasi sensor mampu memberikan nilai akurasi tinggi, sehingga sangat relevan untuk pengembangan instrumen non-destruktif pada produk pangan. Desain perangkat keras dari sistem yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2.



Berdasarkan Gambar 2, desain perangkat keras dari sistem deteksi kualitas telur ayam ras terdiri dari beberapa komponen utama. Sistem ini menggunakan tiga jenis sensor, yaitu sensor *Load*

Cell HX711 untuk mengukur berat telur, sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya tembus cangkang, serta sensor warna TCS34725 untuk membaca warna kerabang. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Yulkifli et al. (2023) yang memanfaatkan sensor TCS3200 dalam sistem spektrofotometer IoT untuk mengukur konsentrasi logam berat. Data dari sensor dikirimkan melalui NodeMCU ke server berbasis website dan dapat diakses menggunakan perangkat Android. Integrasi ini menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler ESP32/NodeMCU sangat efektif dalam mendukung pemantauan data secara real-time Yulkifli et al. (2025). Sistem juga dilengkapi dengan LCD sebagai tampilan hasil pengukuran, buzzer, dan LED sebagai indikator mutu telur. Sebagai pusat pengendali, digunakan mikrokontroler ESP32 yang sekaligus berfungsi untuk mengirimkan data ke platform Internet of Things (Blynk dan Google Spreadsheet) secara real-time. Agar perangkat keras dapat berjalan sesuai instruksi, dibutuhkan rancangan perangkat lunak yang mengatur pengolahan data sensor, pengklasifikasian kualitas telur menggunakan algoritma machine learning, serta pengiriman data ke cloud. Adapun diagram alir sistem yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem: (a) Proses Akuisisi dan Pengiriman Data Sensor, dan (b) Proses Klasifikasi Mutu Telur.

Dalam sistem ini digunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sekaligus penghubung ke jaringan *Internet of Things*. Diagram alir Gambar 3a. menunjukkan tahapan proses akuisisi dan pengiriman data sensor. Proses dimulai dari inisialisasi sistem dan koneksi Wi-Fi, kemudian dilakukan pembacaan berat telur dengan sensor *Load Cell* HX711 dan intensitas cahaya dengan sensor LDR. Hasil pembacaan awal ditampilkan pada LCD sebagai panduan bagi pengguna. Selanjutnya, sistem memberikan instruksi melalui LCD untuk memindahkan telur ke posisi sensor warna. Setelah tombol push button ditekan, sensor TCS34725 membaca warna kerabang dalam

format RGB, yang kemudian dikonversi ke model HSV. Semua data sensor (berat, lux, RGB/HSV) dikirimkan ke LCD, Blynk, dan Google Spreadsheet untuk penyimpanan dan pemantauan real-time.

Diagram alir B (Gambar 3b) memperlihatkan proses klasifikasi mutu telur berdasarkan nilai *Haugh Unit* (HU) yang diprediksi dengan model *machine learning*. Data masukan berupa berat, lux, dan warna (RGB/HSV) diproses menggunakan algoritma *K-Nearest Neighbors* (KNN) untuk menghasilkan estimasi HU. Berdasarkan hasil prediksi, telur dikategorikan menjadi tiga kelas mutu, yaitu kualitas baik ($HU > 75$), kualitas sedang ($60 \leq HU \leq 75$), dan kualitas rendah ($31 \leq HU \leq 60$). Hasil klasifikasi ditampilkan melalui LCD serta dikirimkan ke platform IoT untuk pencatatan data. Sistem kemudian dapat diulang untuk pengukuran telur berikutnya.

Tingkat keakuratan Akurasi sistem ditentukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan hasil perhitungan teoritis Yulkifli *et al.* (2018). Ketepatan merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya. Akurasi (A%) ditentukan menggunakan persamaan (1), serta presisi ditentukan menggunakan persamaan (2).

$$A\% = [1 - |\frac{Y_n - X_n}{Y_n}|] \times 100\% \quad (1)$$

dengan Y_n = hasil pengukuran instrumen standar, dan X_n = hasil pengukuran sistem deteksi.

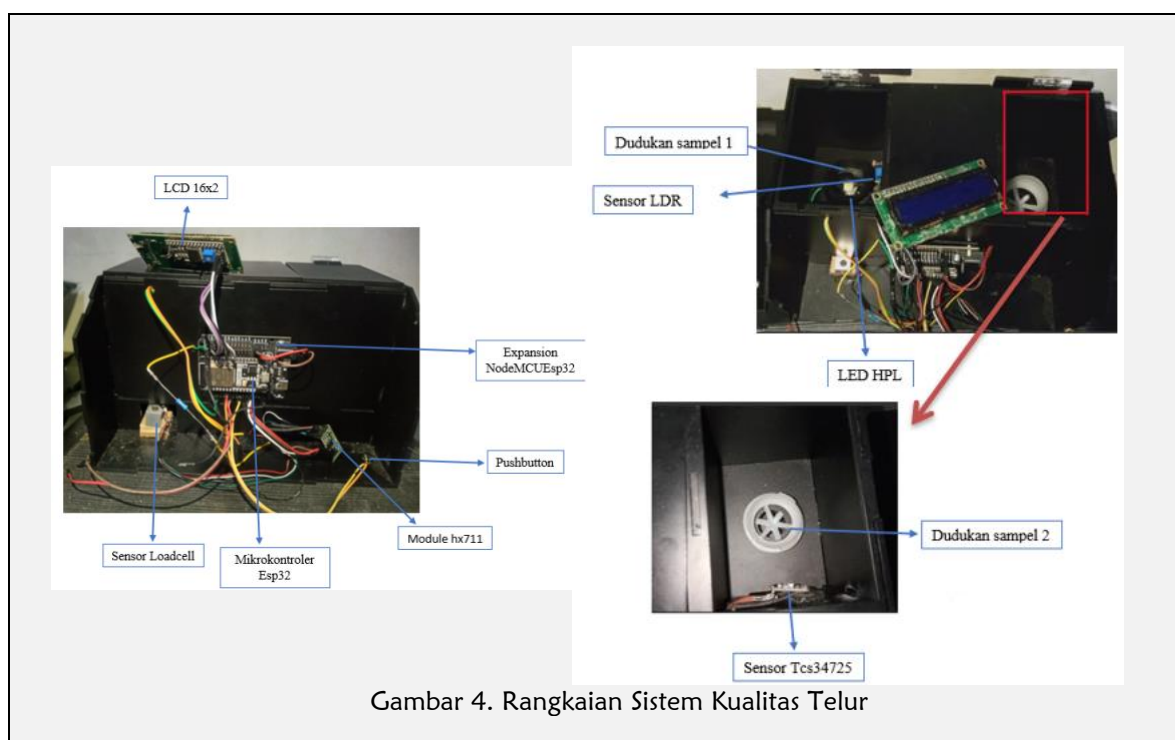
$$P = 1 - |\frac{X_n - \bar{X}_n}{X_n}| \quad (2)$$

dengan \bar{X}_n = nilai rata-rata hasil pengukuran sistem deteksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Spesifikasi kinerja sistem mencakup performa setiap sensor yang digunakan dalam pendeteksian kualitas telur. Pengujian kinerja dilakukan melalui karakterisasi tiga sensor utama, yaitu *Load Cell* HX711 untuk pengukuran berat, LDR untuk intensitas cahaya tembus cangkang, serta TCS34725 untuk warna kerabang. Selain itu, dilakukan pula uji fungsi transmisi data pada mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan platform IoT (Blynk dan Google Spreadsheet), serta uji tampilan hasil pada LCD dan indikator tambahan berupa buzzer dan LED.



Gambar 4. Rangkaian Sistem Kualitas Telur

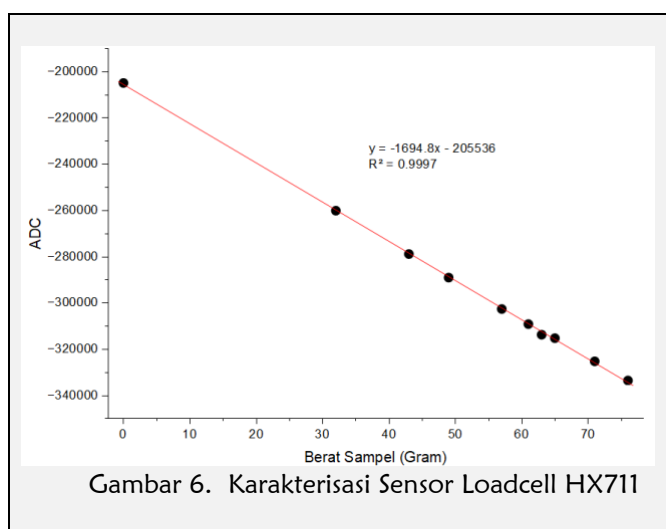
Pada gambar 4 terlihat rangkaian sistem kualitas telur ayam ras dirancang dengan mengintegrasikan tiga sensor utama, yaitu *Load Cell* HX711, LDR, dan TCS34725, yang terhubung

ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. *Load Cell* dipasang pada dudukan khusus untuk menimbang massa telur, LDR ditempatkan pada posisi sejajar dengan sumber cahaya untuk mengukur intensitas cahaya tembus cangkang, sedangkan sensor TCS34725 diarahkan langsung ke permukaan kerabang untuk mendeteksi nilai warna.

Hasil pengukuran dari ketiga sensor diolah oleh ESP32, kemudian ditampilkan pada LCD dalam bentuk kategori kualitas telur berdasarkan nilai prediksi Haugh Unit. Indikator tambahan berupa buzzer dan LED digunakan untuk memberikan tanda visual dan suara sehingga hasil klasifikasi lebih mudah dipahami oleh pengguna. Perakitan dilakukan menggunakan *expansion board shield for ESP32* dan kabel jumper sesuai skematik rangkaian yang telah dirancang.

1. Karakterisasi

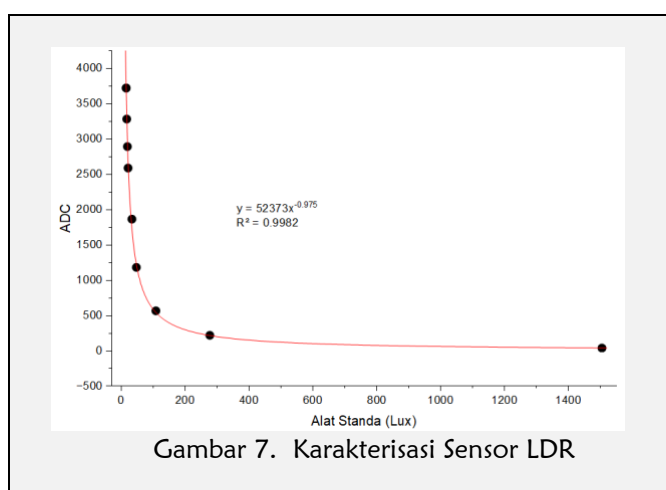
Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan linearitas dan akurasi pengukuran.



Gambar 6. Karakterisasi Sensor Loadcell HX711

Terlihat pada gambar 6 sensor *Load Cell* HX711 menunjukkan hubungan linier yang sangat baik dengan timbangan digital, dengan nilai determinasi $R^2=0,9997$ sehingga dapat diandalkan untuk mengukur berat telur secara presisi.

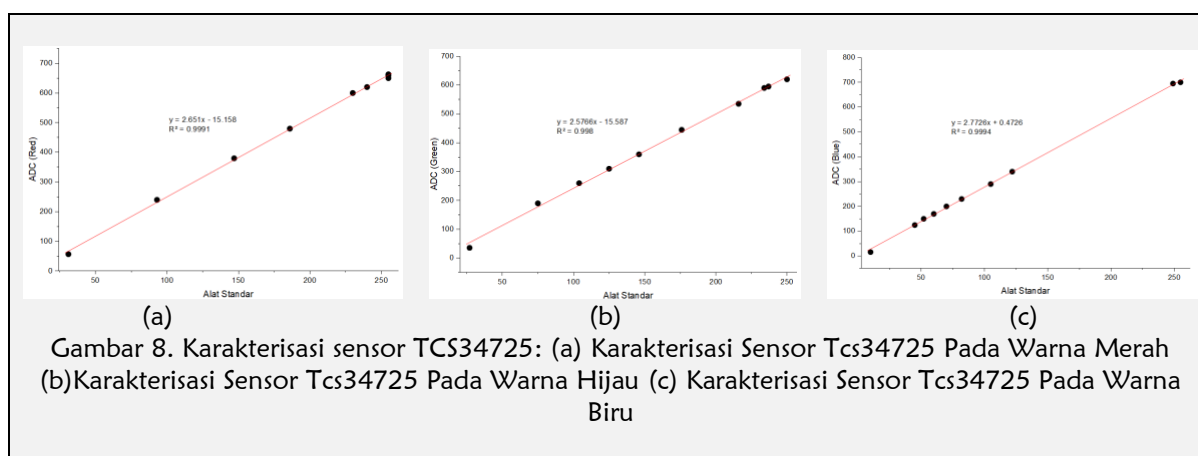
LDR digunakan karena respons cepat terhadap cahaya tampak (Mona Berlian Sari, Yulkifli, & Kamus, 2015),



Gambar 7. Karakterisasi Sensor LDR

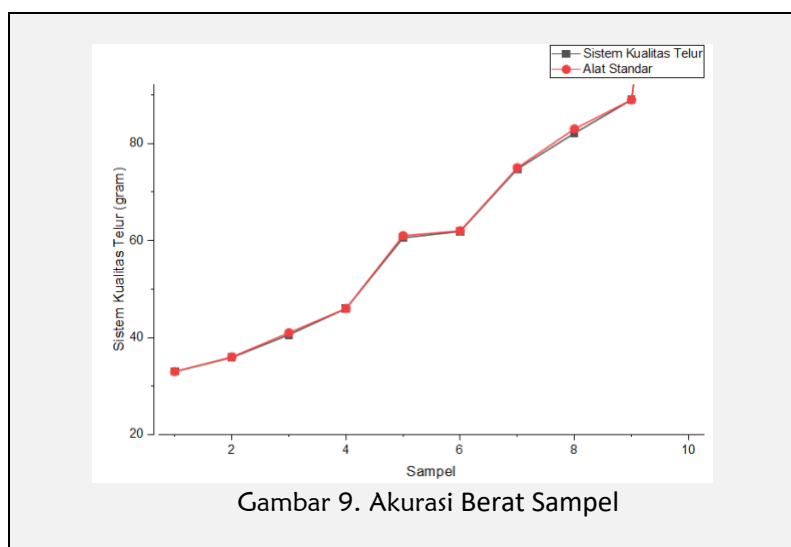
Kemudian pada gambar 7 terlihat juga pada sensor LDR juga menunjukkan korelasi yang tinggi terhadap alat ukur standar *lux meter* dengan nilai $R^2=0,9997$, menandakan akurasi kalibrasi yang sangat baik. Sementara itu, sensor warna TCS34725 menghasilkan linearitas tinggi pada

komponen R, G, dan B dengan nilai R^2 masing-masing 0,9991; 0,998; dan 0,9994. Hasil ini memperlihatkan bahwa ketiga sensor mampu merepresentasikan parameter fisik telur dengan baik. Hasil ditunjukkan pada gambar 8.



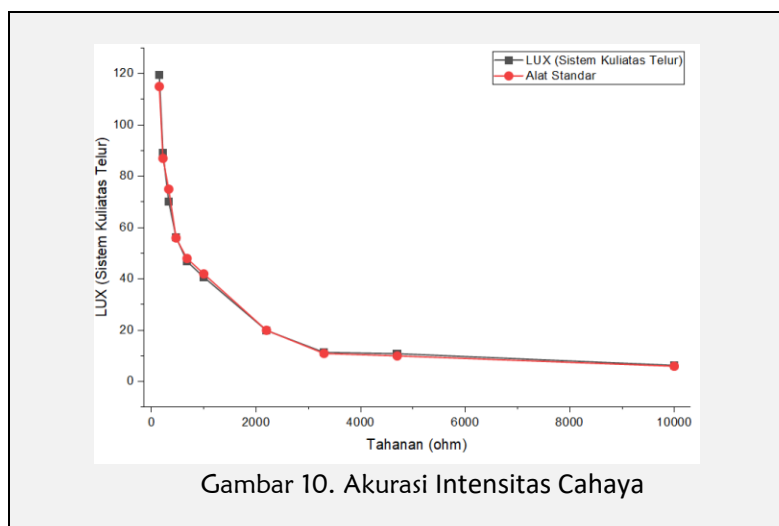
2. Akurasi

Akurasi berat ditentukan dengan membandingkan hasil sistem dengan instrumen standar (timbangan digital). Pengukuran dilakukan 10 kali pengukuran pada sampel telur yang berbeda. Hasil ditunjukkan pada Gambar 9.



Rata-rata akurasi pengukuran sistem ini mencapai 99,5774 %, menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan hasil yang hampir identik dengan alat standar dengan persentase akurasi terendah sebesar 98.92% dan yang tertinggi 99.98%.

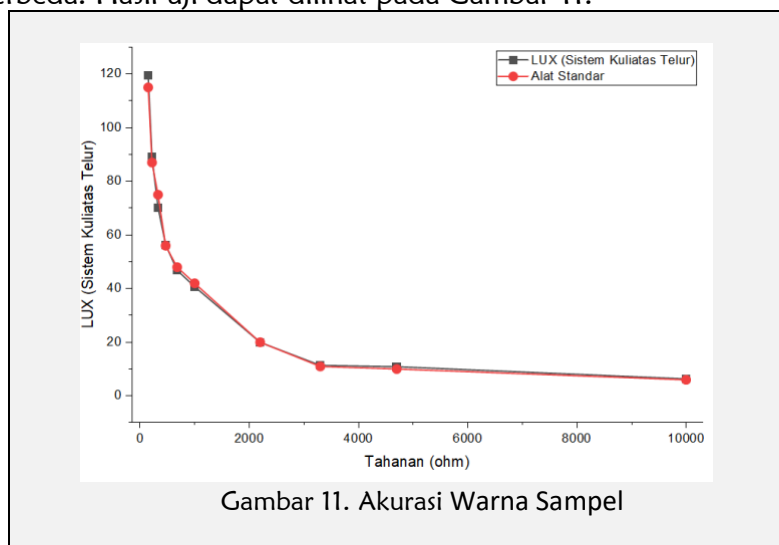
Akurasi intensitas cahaya diperoleh dari perbandingan antara nilai lux yang terbaca pada Light Meter LX-105 sebagai alat ukur standar dengan nilai yang terbaca pada sensor LDR. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran dengan kondisi pencahayaan yang berbeda. Hasil uji dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Akurasi Intensitas Cahaya

Rata-rata akurasi keseluruhan mencapai 96,76%, sehingga sistem dapat dikategorikan memiliki ketepatan yang sangat baik.

Akurasi warna cangkang diperoleh dari perbandingan antara nilai RGB yang terbaca pada aplikasi Color Meter sebagai alat ukur standar dengan nilai yang terbaca pada sensor TCS34725. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali pengukuran pada sampel telur dengan variasi warna cangkang yang berbeda. Hasil uji dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Akurasi Warna Sampel

Rata-rata akurasi pembacaan sensor pada warna merah mencapai 99,41%, warna hijau sebesar 99,49%, dan warna biru sebesar 99,44%. Nilai rata-rata keseluruhan akurasi sensor mencapai 99,48%.

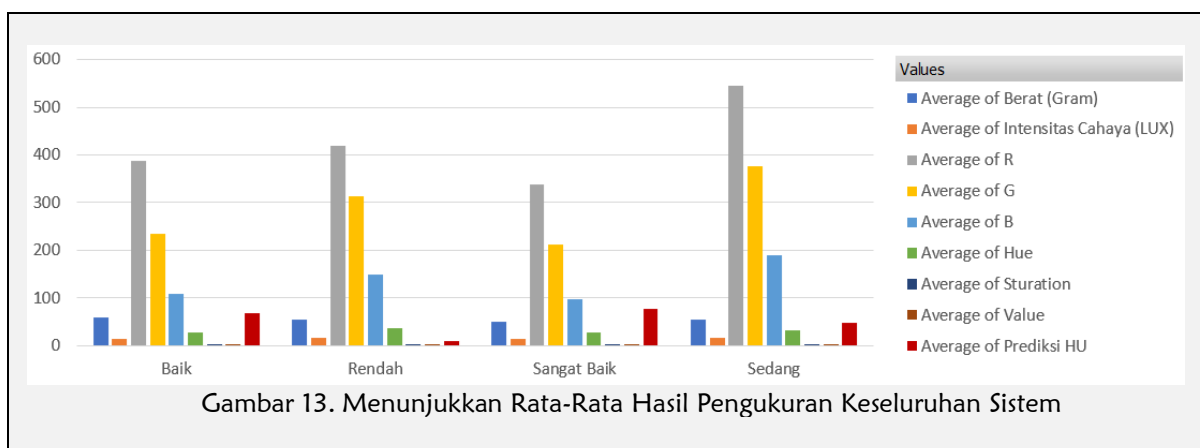
3. Logging

Data hasil pengukuran berhasil disimpan baik di Google Spreadsheet (*cloud storage*). ESP32 digunakan untuk mengirim data ke Google Sheets melalui HTTP GET request, sehingga data dapat diakses real-time.

Gambar 12. Tampilan logger pada Spreadsheet

4. Pengujian Sistem

Pengukuran sistem yang telah dilakukan menghasilkan beberapa parameter yang diperoleh dari sensor, yaitu berat telur, intensitas cahaya, komponen warna RGB, serta nilai *Hue*, *Saturation*, dan *Value* (HSV). Selain itu, sistem juga memberikan keluaran berupa nilai *Haugh Unit* (HU) prediksi serta klasifikasi mutu telur ke dalam kategori Sangat Baik, Baik, Sedang, dan Rendah. Rata-rata hasil pengukuran seluruh sampel telur ditampilkan pada Gambar 13.



Berdasarkan hasil klasifikasi sistem, telur sampel yang diuji terbagi ke dalam empat kategori mutu, yaitu Sangat Baik, Baik, Sedang, dan Rendah. Jumlah masing-masing kategori diperoleh melalui analisis distribusi data menggunakan PivotTable. Hasil distribusi mutu ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Mutu Telur

Jumlah Sampel	Sangat Baik	Baik	Sedang	Rendah
30 Butir	11 Butir	6 Butir	9 Butir	4 Butir

Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kualitas telur ayam ras yang dikembangkan memiliki akurasi dan ketelitian tinggi. Sensor *Load Cell* HX711, LDR, dan TCS34725 terbukti mampu merepresentasikan parameter fisik telur di atas 0,90 sejalan dengan temuan sebelumnya bahwa sensor dengan karakteristik linier penting untuk menjaga keakuratan pengukuran (Fuad et al., 2013; Tissos et al., 2014).

Rata-rata akurasi sistem mendekati 100%, dengan pengukuran berat mencapai 99,57%, warna kerabang 99,48%, dan intensitas cahaya antara 93–99%. Nilai-nilai ini menegaskan bahwa sistem dapat diandalkan untuk identifikasi mutu telur secara praktis. Aktuator berupa LED dan buzzer juga berfungsi optimal, sehingga hasil klasifikasi mudah dipahami pengguna.

Pada prediksi *Haugh Unit* (HU) menggunakan *machine learning*, algoritma KNN menunjukkan performa terbaik dengan nilai $R^2 = 0,89$ dan akurasi rata-rata 95,98%. Meski demikian, sebagian kecil sampel menunjukkan deviasi akibat noise sensor dan keterbatasan data latih. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah dataset diperlukan untuk memperluas generalisasi model, terutama bila diimplementasikan pada skala industri.

Secara keseluruhan, sistem berbasis IoT dengan dukungan algoritma KNN berpotensi menjadi solusi non-destruktif yang inovatif dalam monitoring mutu telur, sekaligus mendukung penerapan digitalisasi di sektor peternakan modern.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem kualitas telur ayam ras berbasis sensor non-destruktif yang mampu mengukur berat, intensitas cahaya, dan warna kerabang dengan akurasi tinggi. Integrasi algoritma *K-Nearest Neighbors (KNN)* menghasilkan akurasi prediksi nilai *Haugh Unit* sekitar 95–96%, sehingga sistem ini berpotensi digunakan sebagai metode estimasi mutu telur secara praktis dan mendukung penerapan *smart farming*. Ke depan, diperlukan penambahan jumlah data latih serta pengembangan sensor internal agar sistem lebih komprehensif dan siap diterapkan pada skala industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Andri. (2022). Rancang bangun alat pemilah telur ayam otomatis berdasarkan berat. *Jurnal Teknologi Peternakan*, 10(2), 55–62.
- Febria, Y., Garnida, D., Asmara, A., & Hidayat, A. (2022). Evaluasi kualitas internal telur ayam ras berdasarkan nilai *Haugh Unit*. *Jurnal Ilmu Ternak*, 22(1), 15–23.
- Fuad, A., Rachman, A., & Nugroho, T. (2013). Karakteristik sensor linier untuk aplikasi pengukuran presisi. *Jurnal Instrumentasi*, 5(1), 12–19.
- Jalil, A., & Hidayat, R. (2024). Sistem deteksi mutu telur ayam ras menggunakan sensor LDR berbasis Arduino Uno. *Jurnal Instrumentasi dan Otomasi*, 5(1), 45–52.
- Kementerian Pertanian. (2023). Statistik konsumsi telur ayam ras di Indonesia. Jakarta: Kementan.
- Khanna, A., & Kaur, S. (2020). Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105476. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105476>
- Mona Berlian Sari, M., Yulkifli, Y., & Kamus, Z. (2015). Pemanfaatan sensor LDR untuk pengukuran intensitas cahaya tampak. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 11(2), 89–95.
- Nofriandi, A., Yulkifli, Asrizal, & Sati'at, N. A. (2024). IoT-based viscometer fabrication using the falling ball method for laboratory applications. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 34(1), 89–97.
- Tissos, P., Raharjo, R., & Setiawan, I. (2014). Analisis performa sensor linier untuk sistem monitoring. *Jurnal Elektro dan Instrumentasi*, 6(2), 45–52.
- Wang, Y., Li, J., Chen, X., & Zhang, H. (2019). Applications of machine learning in food quality evaluation: A review. *Food Control*, 96, 205–217. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.09.022>

- Worang, L., Sondakh, J., Palar, N., Rumondor, E., & Wahyuni, M. (2022). Hubungan Haugh Unit dengan kesegaran telur ayam ras. *Jurnal ZooteK*, 42(3), 120–126.
- Wulandari, D., & Afriyanto, T. (2023). Sistem monitoring IoT untuk produk pangan. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 12(1), 33–41.
- Yulkifli, Nofriandi, A., Audia, W., Asrizal, Darvina, Y., Muttaqin, A., & Jaafar, R. (2025). Development of Newton dynamometer instrumentation integrated with smart counter applications based on Hooke's law. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 37(3), 289–298.
- Yulkifli, Nofriandi, A., Triyono, R., Audia, W., & Sati'at, N. A. (2024). Initial design of IoT-based earthquake intensitymeter using MMI scale with smartphone display. *Journal of Physics: Conference Series*, 2734(1), 012025.
- Yulkifli, Dewantara, K. S., Sari, M. B., Ramli, Razia, F., & Handayani, W. (2023). A low-cost digital spectrophotometer for heavy metal absorbance measurements. *Instruments and Experimental Techniques*, 66(1), 147–155.
- Yulkifli, Yohandri, Murtiani, & Nofrianto, A. (2018). Development Of Digital Archimedes Experiment Sistem Based On For Physics Education. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1120(1)
- Zhang, Z., Zhang, J., & Du, Y. (2018). K-nearest neighbors algorithm for classification problems in food quality detection. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 11(1), 45–54.