

# Rancang Bangun Sistem Sortir Telur Puyuh Berbasis *Internet of Things*

Muhammad Aziz Nur Mubarak<sup>1\*</sup>, Irwanto<sup>2</sup>, Siswo Wardoyo<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang Banten

\*Penulis Korespondensi, email: [2283210016@untirta.ac.id](mailto:2283210016@untirta.ac.id)

Received: 24/06/2025

Revised: 05/07/2025

Accepted: 05/07/2025

**Abstract.** The process of manually sorting quail eggs often faces obstacles, especially in distinguishing the quality of eggs based on the spots on their shells. This makes the process less effective and tends to be inaccurate. To overcome this challenge, an Internet of Things (IoT)-based quail egg sorting system was developed. The system is designed to remotely monitor and manage parameters such as weight, quality, and quantity of eggs in real-time through Blynk software. The system uses a combination of ESP32 microcontroller with TCS3200 color sensor, load cell, and LDR sensor. With the integration of various sensors, the device is able to detect the weight, surface condition, and quantity of the tested eggs. In testing 30 eggs, the system successfully identified 18 eggs as good eggs, 7 as bad eggs, and 5 eggs were not detected. Based on these results, the success rate of the system in detecting quail egg quality reached 83.33%. This achievement shows that this IoT-based sorting system is effective enough to be applied in the automatic egg selection process.

**Keywords:** Sorting system, Quail eggs, Internet of things, ESP32, LDR, TCS3200

**Abstrak.** Proses penyortiran telur puyuh secara manual sering kali menghadapi kendala, terutama dalam membedakan kualitas telur berdasarkan bintik-bintik pada cangkangnya. Hal ini membuat proses tersebut menjadi kurang efektif dan cenderung tidak akurat. Untuk mengatasi tantangan ini, dikembangkanlah sebuah sistem penyortiran telur puyuh berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem ini dirancang agar dapat memantau dan mengelola parameter seperti berat, kualitas, dan kuantitas telur secara *real-time* dari jarak jauh melalui perangkat lunak Blynk. Sistem ini menggunakan kombinasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor warna TCS3200, *load cell*, dan sensor LDR. Dengan integrasi berbagai sensor tersebut, perangkat mampu mendeteksi berat, kondisi permukaan, serta jumlah telur yang diuji. Dalam pengujian terhadap 30 butir telur, sistem berhasil mengidentifikasi 18 telur sebagai telur baik, 7 sebagai telur buruk, dan 5 telur tidak terdeteksi. Berdasarkan hasil tersebut, tingkat keberhasilan sistem dalam mendeteksi kualitas telur puyuh mencapai 83,33%. Capaian ini menunjukkan bahwa sistem penyortiran berbasis *IoT* ini cukup efektif untuk diterapkan dalam proses seleksi telur secara otomatis.

**Kata Kunci:** Sistem sortir, Telur puyuh, *Internet of things*, ESP32, LDR, TCS3200

## I. PENDAHULUAN

Masyarakat Indonesia sangat bergantung pada hasil ternak seperti daging, susu, dan telur sebagai sumber protein yang dibutuhkan [1]. Telur, terutama telur puyuh, merupakan sumber protein hewani yang bermutu tinggi dengan kandungan 13,6% protein dan 8,2% lemak. Berbeda dengan telur ayam, telur puyuh memiliki struktur yang serupa, terdiri dari putih telur, kuning telur, dan kerabang telur [2]. Telur puyuh sering diolah menjadi berbagai makanan lezat seperti bakso isi telur, sup telur, mie kuah telur, dan kreasi kuliner lainnya [3]. Dengan pengolahan yang tepat, telur puyuh dapat menjadi hidangan menggugah selera bagi semua kalangan [4].

Telur puyuh, yang memiliki kualitas yang dapat berubah karena berbagai perlakuan seperti pemanasan dan penyimpanan, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti temperatur, cara penyimpanan, dan kondisi bau di sekitarnya [5]. Adapun penurunan kualitas telur puyuh seiring berjalannya waktu disebabkan oleh penguapan cairan yang meningkat dan bertambahnya ukuran kantong udara di dalamnya. Untuk mengatasi penurunan kualitas tersebut, disarankan untuk menyimpan telur puyuh pada suhu kulkas dan dalam kemasan yang rapat. Perlu juga disortir untuk memastikan kualitasnya agar masih layak dikonsumsi. Kualitas telur puyuh bisa dilihat dari pola tekstur dan warna pada cangkangnya yang umumnya berwarna putih dengan bintik-bintik hitam. Selain itu, telur puyuh

memiliki berat rata-rata sekitar 11,90 hingga 12,20 gram per butir, dengan setiap 100 gram mengandung sekitar 15 gram protein dan 10,20 gram lemak. Pemilihan telur berkualitas tinggi sangat penting untuk meningkatkan produksi telur puyuh dan berdampak signifikan pada harga jualnya [6].

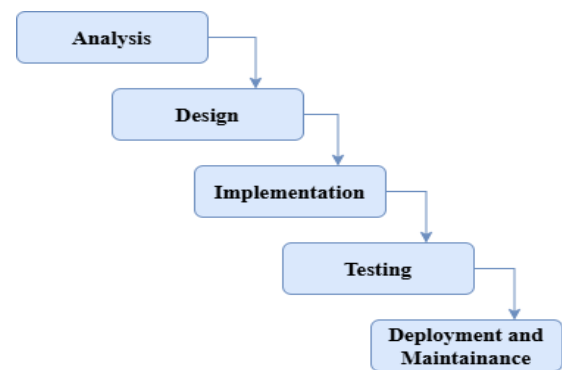
Hasil observasi dan wawancara dilakukan terhadap peternak serta penyuplai telur puyuh di kota Serang. Seorang peternak berinisial A, dengan pengalaman 15 tahun dalam beternak telur puyuh, menyampaikan bahwa telur puyuh sulit untuk diidentifikasi kualitasnya karena bercak-barcak pada cangkang bisa menghalangi proses sortir manual. Selain itu, tantangan lain yang dihadapi adalah membedakan bobot dari telur puyuh, menyebabkan proses sortir manual menjadi kurang efisien dalam menentukan berat setiap telur puyuh. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem sortir yang dapat meningkatkan akurasi pada proses penyortiran untuk menilai kualitas telur puyuh. Penerapan teknologi *Internet of Things* dapat memberikan bantuan dan kemudahan bagi para peternak dalam memantau proses penyortiran telur puyuh. Dengan demikian, telur puyuh tidak hanya menjadi bahan makanan populer, tetapi juga memiliki aspek lain yang perlu dipertimbangkan dalam pengolahannya agar kualitasnya tetap terjaga dengan baik dan aman.

Berdasarkan kondisi pada pengumpulan data yang didapat melalui studi literatur dan observasi, penulis memutuskan untuk merancang sebuah alat dengan judul "Rancang Bangun Sistem Sortir Telur Puyuh Berbasis *Internet of Things*". Alat ini dirancang untuk menjadi solusi efektif guna meningkatkan produktivitas peternak. Selain itu, alat ini juga dapat membantu peternak dalam pengawasan kondisi serta kualitas telur puyuh, memungkinkan mereka mengelola proses sortir dengan lebih akurat demi peningkatan kualitas produksi telur puyuh pada akhirnya.

## II. METODOLOGI

### A. Waterfall

*Waterfall* atau yang biasa disebut juga sebagai model air terjun ini adalah sebuah pendekatan klasik dalam perangkat lunak, metode yang menggambarkan linier dan berurutan. Terdiri dari lima fase, setiap fasenya didefinisikan oleh tugas dan tujuan yang berbeda, seluruh fase menggambarkan siklus hidup perangkat lunak hingga pengirimannya [7].

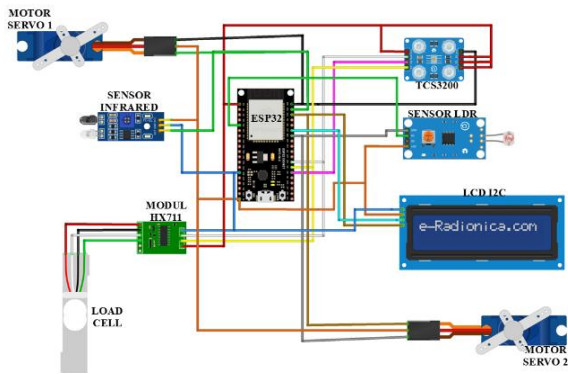


Gambar 1. Metode waterfall

Metode yang ditampilkan pada Gambar 1. menitikberatkan pada proses perancangan alat yang mencakup tahapan analisis kebutuhan, perancangan desain perangkat, pengembangan program, pengujian fungsi alat, serta uji coba langsung kepada masyarakat. Selain itu, metode ini juga mencakup penyusunan langkah-langkah pemeliharaan alat.

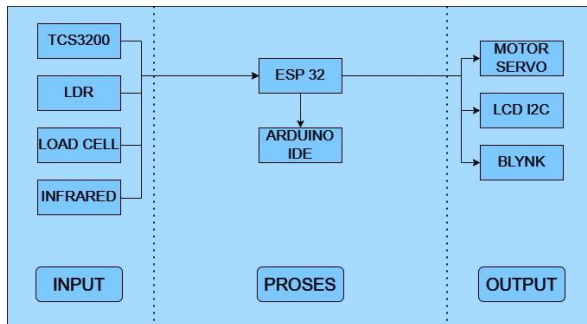
### B. Perancangan hardware dan software

Dalam proses perancangan perangkat keras (*Hardware*), dan lunak (*Software*) merupakan tahap awal yang dilakukan adalah menyusun rancangan sistem daya yang dibutuhkan guna mengendalikan beban yang terlibat selama pembuatan alat [8]. Tahapan ini mencakup penyusunan desain yang dapat diukur agar dapat diimplementasikan secara optimal, sekaligus memastikan proses berjalan dengan lancar dan dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Desain komponen sistem sortir telur puyuh.

Terdapat blok diagram sistem sortir telur puyuh berbasis *IoT* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Blok diagram sistem sortir telur puyuh berbasis *IoT*.

Pada Gambar 3. merupakan diagram blok dari sistem sortir telur puyuh berbasis *IoT* ini terdapat empat input yaitu TCS3200 sebagai sensor warna yang nantinya akan mendeteksi warna dari cangkang telur puyuh untuk menentukan kualitas telur, *load cell* adalah sebuah sensor yang dapat mendeteksi berat satuan dari telur puyuh. Sensor LDR digunakan untuk melihat kualitas telur dari dalam. *Infrared* berfungsi untuk mendeteksi jumlah telur puyuh yang disortir. Pada bagian proses adalah untuk mengolah data yang didapat dari *input* menggunakan ESP32, sedangkan Arduino IDE adalah sebuah *software* untuk memprogram ESP32 agar menerima perintah dari *input* dan melakukan sebuah pergerakan pada bagian *output*. Pada bagian terakhir yaitu *output*, terdapat dua motor servo yang digerakan dengan sinyal ESP32, motor servo 1 digunakan untuk mendorong telur ke arah sensor

*infrared* setelah sebelumnya sudah di deteksi oleh sensor LDR, TCS3200, dan *load cell*. Lalu telur akan diarahkan oleh motor servo 2 ke wadah yang sesuai dengan kualitasnya. Komponen LCD I2C berfungsi untuk memonitoring kualitas telur secara langsung[9].

Adapun *blynk* sebagai *software* yang digunakan untuk memonitoring dari jarak jauh dalam sistem sortir telur puyuh berbasis *IoT* dengan menampilkan data yang sudah diproses oleh ESP32 berupa berat satuan telur, Kualitas, dan jumlah telur puyuh yang sudah melewati tahap sortir.

### C. Komponen penelitian

Terdapat komponen penelitian yang dapat ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komponen penelitian

| No  | Komponen               | Jumlah |
|-----|------------------------|--------|
| 1.  | ESP32                  | 1      |
| 2.  | TCS3200                | 1      |
| 3.  | <i>Load Cell</i>       | 1      |
| 4.  | HX711                  | 1      |
| 5.  | Motor Servo            | 2      |
| 6.  | Sensor <i>Infrared</i> | 1      |
| 7.  | Sensor LDR             | 1      |
| 8.  | LCD I2C                | 1      |
| 9.  | LM2596                 | 1      |
| 10. | Relay 2 Channel        | 1      |
| 11. | LED HPL                | 1      |

Komponen tersebut yang nantinya akan menjadi satu kesatuan dengan fungsi masing-masing, seperti ESP32 berperan sebagai mikrokontroler utama dalam sistem ini, yang bertugas mengendalikan seluruh komponen sesuai dengan logika dan instruksi yang telah diprogramkan. TCS3200 digunakan untuk mendeteksi warna cangkang telur puyuh, yang menjadi salah satu parameter dalam menentukan kualitas telur secara visual. *Load Cell* digunakan untuk mendeteksi warna cangkang telur puyuh, yang menjadi salah satu parameter dalam menentukan kualitas telur secara visual. HX711 digunakan sebagai penguat sinyal dari load cell, serta mengonversi sinyal analog menjadi digital agar dapat diproses oleh ESP32 dengan lebih akurat. Motor Servo Sistem menggunakan dua motor servo.

Motor servo 1 mendorong telur puyuh setelah sudah terdeteksi kualitasnya, sedangkan motor servo 2 bertugas mengarahkan telur ke tempat sortir yang sesuai.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil desain alat

Hasil dari desain alat sortir telur puyuh berbasis *IoT* dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Desain alat

Bahan yang digunakan yaitu PVC (*Polyvinyl Chloride*) sebagai material utama dalam konstruksi fisik alat. Bahan ini dipilih karena memiliki sifat ringan, tahan terhadap kelembaban, mudah dibentuk, serta cukup kuat untuk menopang komponen elektronik maupun mekanik. Struktur alat dirancang menggunakan lembar PVC dengan tiga variasi ketebalan, yaitu 2 mm, 5 mm, dan 8 mm, yang masing-masing digunakan berdasarkan kebutuhan dan fleksibilitas pada bagian tertentu. Secara keseluruhan alat ini memiliki lebar 22 cm dan Panjang 72 cm, yang telah disesuaikan dengan memperhitungkan arah gerak sensor penyortir telur puyuh. Ukuran ini juga memungkinkan alat tetap kompak dan mudah ditempatkan diberbagai lokasi, baik dalam lingkungan laboratorium maupun skala peternakan kecil.

#### B. Hasil perancangan Internet of Things

Perancangan *Internet of Things*, dengan menggunakan aplikasi *blynk* terdapat beberapa komponen yang datanya akan langsung di baca oleh aplikasi *blynk*, yaitu TCS3200, sensor LDR, dan

*load cell*. TCS3200 sebagai sensor warna guna mendeteksi warna dari cangkang telur puyuh, sedangkan sensor LDR akan melihat kualitas telur dari cahaya yang dipantulkan dari dalam cangkang. Sedangkan *load cell* sebagai sensor timbangan yang akan menimbang berat satuan telur puyuh. Data yang akan ditampilkan LCD I2C dan *blynk* yaitu berat satuan, jumlah telur, dan kualitas dari telur puyuh. Tampilan *blynk* dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Tampilan *blynk* dan LCD.

Tampilan *blynk* yang ditunjukkan pada Gambar 5 merupakan hasil dari proses pengujian sistem monitoring berbasis *IoT* yang dirancang untuk menampilkan data secara *real-time*. Tampilan ini telah disesuaikan dengan informasi yang juga ditampilkan pada LCD I2C di perangkat keras, sehingga kedua media, baik aplikasi *blynk* maupun LCD menyajikan data yang selaras, seperti jumlah telur, berat telur, dan kualitasnya. Dengan demikian, pengguna dapat memantau hasil deteksi baik secara langsung melalui perangkat maupun secara jarak jauh melalui aplikasi *blynk*, yang mendukung dan memudahkan pemantauan data sistem sortir.

#### C. Hasil pengujian sistem sortir telur puyuh berbasis *IoT*

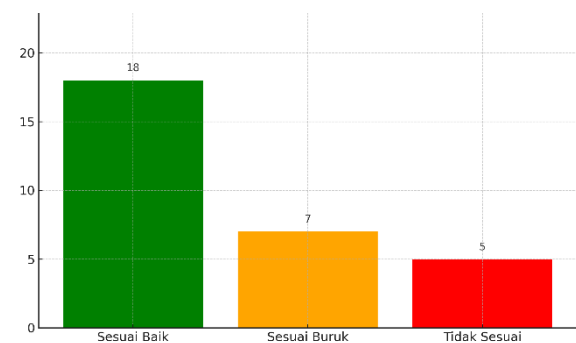
Pada pengujian sistem sortir telur puyuh berbasis *Internet of Things* ini dilakukan dengan menggunakan sampel telur puyuh sebanyak 30 butir. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk

mengetahui keakuratan alat sortir otomatis. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil sortir yang diperoleh melalui alat sortir berbasis *IoT* dengan metode penyortiran secara manual. Pada metode manual, proses identifikasi dan klasifikasi telur puyuh dilakukan dengan cara mengamati kondisi visual cangkang luar serta isi bagian dalam telur menggunakan bantuan cahaya dari senter, guna menentukan kualitas atau kategori dari masing-masing telur puyuh. Jika telur puyuh terkena cahaya dari senter dapat menembus cangkang telur puyuh, maka kualitasnya baik, dan jika tidak tertembus cahaya senter, maka kualitas buruk.

**Tabel 2.** Data hasil pengujian

| Telur Ke- | Berat (gram) | Sortir manual |       | Sortir alat |       | Keterangan   |
|-----------|--------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|
|           |              | Baik          | Buruk | Baik        | Buruk |              |
| 1.        | 11,58        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 2.        | 12,50        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 3.        | 11,20        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 4.        | 12,35        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 5.        | 11,64        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 6.        | 12,41        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 7.        | 11,58        |               | √     | √           |       | Tidak sesuai |
| 8.        | 11,24        | √             |       |             | √     | Tidak sesuai |
| 9.        | 12,06        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 10.       | 12           |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 11.       | 11,55        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 12.       | 11,75        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 13.       | 12,11        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 14.       | 11,94        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 15.       | 11,78        |               | √     | √           |       | Tidak sesuai |
| 16.       | 12,52        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 17.       | 11,33        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 18.       | 11,38        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 19.       | 11,90        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 20.       | 11,81        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 21.       | 10,25        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 22.       | 11,55        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 23.       | 12,35        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 24.       | 11,72        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 25.       | 11,43        | √             |       | √           |       | Sesuai       |

| Telur Ke- | Berat (gram) | Sortir manual |       | Sortir alat |       | Keterangan   |
|-----------|--------------|---------------|-------|-------------|-------|--------------|
|           |              | Baik          | Buruk | Baik        | Buruk |              |
| 26.       | 11,25        |               | √     |             | √     | Sesuai       |
| 27.       | 11,70        |               | √     | √           |       | Tidak sesuai |
| 28.       | 11,75        |               | √     | √           |       | Tidak sesuai |
| 29.       | 11,82        | √             |       | √           |       | Sesuai       |
| 30.       | 11,87        | √             |       | √           |       | Sesuai       |



**Bagan 1.** Data hasil pengujian

Setelah dilakukan pengujian baik dengan mengamati secara manual maupun dengan menggunakan alat, ternyata jumlah telur yang terdeteksi mencapai 30 butir. Grafik Bagan 1 menunjukkan bahwa dari total 30 telur yang diuji, sebanyak 18 telur berhasil dideteksi sebagai telur baik, sementara 7 telur lainnya teridentifikasi sebagai telur buruk. Namun, terdapat 5 telur yang kondisinya tidak sesuai dengan sortir alat dibandingkan dengan sortir manual. Dari data ini, akurasi alat sebesar 83,33% terbukti mampu memadukan hasil yang sesuai dengan pengecekan manual. Dengan metode sortir alat ini, peternak telur ayam dapat lebih efisien dalam mendeteksi kondisi telur secara cepat. Jaminan 83,33% akurasi menjadi penegas bahwa hasil deteksi masih dapat dipercaya seperti pada pengecekan manual, serta sudah sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan komponen pada perancangan alat ini sudah sesuai dan layak untuk dipakai[10].

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Prototipe sistem sortir telur puyuh berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dirancang, diimplementasikan, diuji, dan dianalisis dengan mengintegrasikan ESP32, sensor warna TCS3200,

*load cell*, dan sensor cahaya LDR. Komponen-komponen tersebut bekerja sinergis untuk membaca parameter kualitas telur secara otomatis, seperti berat, intensitas cahaya tembus, dan warna cangkang. Data yang diperoleh diproses secara *real-time* dan ditampilkan melalui platform *Blynk*, memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui perangkat seluler. Penerapan teknologi *IoT* ini terbukti meningkatkan efisiensi proses sortir dan manajemen data produksi, memudahkan peternak dalam pengawasan dan pengambilan keputusan berbasis data. Hasil pengujian menunjukkan akurasi sistem sebesar 83,33% dibanding metode sortir manual, dengan proses yang lebih cepat dan tingkat kesalahan lebih rendah, sehingga sistem ini berpotensi diterapkan pada industri kecil hingga menengah.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan penambahan sensor gas guna mendeteksi telur busuk demi meningkatkan akurasi klasifikasi, serta penggunaan motor konveyor agar proses sortir sepenuhnya otomatis tanpa intervensi manual. Berdasarkan kesimpulan sebelumnya, disarankan penelitian mendatang menggunakan metode kalibrasi yang lebih presisi dan integrasi teknologi sensor yang lebih mutakhir guna meningkatkan akurasi dan konsistensi sistem sortir otomatis. Pengujian dengan sampel lebih beragam juga perlu dilakukan agar hasil lebih merepresentasikan kondisi nyata di lapangan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi yang setinggi-tingginya kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan serta kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua penulis atas fasilitas dan sarana yang telah diberikan selama proses penelitian. Tak lupa, penulis juga menghaturkan terima kasih kepada Bapak Dr. Irwanto, S.Pd.T., M.T., M.M., M.Pd., M.Si., M.Psi., M.A. dan Bapak Dr. Siswo Wardoyo, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan motivasi yang sangat berarti dalam penyusunan artikel ilmiah ini.

#### REFERENSI

- [1] E. M. Hasiri, M. A. Suryawan, S. Wulan, dan W. Muslim, "Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Telur Menggunakan Sensor Fotodioda Berbasis Mikrokontroler Design of Egg Quality Detection Tool Using Microcontroller Based Photodiode Sensor," *J. Inform.*, vol. 14, no. 1, hal. 1–10, 2025.
- [2] D. Tarkus, S. R. U. A. Sompie, dan A. Jacobus, "Implementasi Metode Recurrent Neural Network pada Pengklasifikasian Kualitas Telur Puyuh," *J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 2, hal. 137–144, 2020.
- [3] A. Khoiri, "Studi Perbandingan Kualitas Organoleptik Telur Puyuh Yang Diasinkan Dengan Pasta Dan Direbus Dengan Larutan Garam," *J. Agroindustri Pangan*, vol. 3, no. 1, hal. 7–20, 2024, doi: 10.47767/agroindustri.v3i1.741.
- [4] M. Akbar MFS, M. Bahit, R. Napitupulu, dan M. Yunus, "Inovasi Teknologi Terapan Rancang Bangun Mesin Pengupas Kulit Telur Puyuh," *Politek. Manufaktur Negeri Bangka Belitung*, hal. 331–335, 2022.
- [5] N. Rahmawati dan E. Rokhana, "Pengaruh Kemasan Plastik dan Lama Penyimpanan pada Suhu 4-5 0 C terhadap Kualitas Internal Telur Burung Puyuh," *J. Anim. Sci.*, vol. 7, no. 2, hal. 152–156, 2023.
- [6] R. Rahmasari, R. T. Hertamawati, dan D. W. Cahyono, "Kualitas Telur Puyuh yang Beredar di Pasar Tradisional di Kecamatan Kaliwates Kabupaten Jember," *J. Ilm. Inov.*, vol. 21, no. 1, hal. 33–37, 2021, doi: 10.25047/jii.v21i1.2632.
- [7] I. Made, S. Adhi Wardana, P. Alit, W. Santiary, dan I. (2022) Made Budiada, "Rancang Bangun Sistem Sortir dan Monitoring Paket Menggunakan QR Code Berbasis Internet of Things (IoT)," *Repos. Politek. Negeri Bali*, hal. 1–8, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.pnb.ac.id>
- [8] S. M. Ayuni, A. Finawan, dan Jamaluddin, "Rancang Bangun Alat Sortir Dan Penghitung Buah Alpukat Susu Berdasarkan Ukuran

Berbasis Arduino Uno,” *J. Tektro*, vol. Vol.7, No., no. 2, hal. 124–130, 2023.

- [9] Raden Budiarto Hadiprakoso, *Rekayasa Perangkat Lunak*. 2020.
- [10] I. F. Aristianto, M. Ramdhani, dan I. P. Dwi Wibawa, “Rancang Bangun Sistem Sortir Telur Ayam Design of Chicken Egg Sort System,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 2, hal. 3017–3024, 2020.