

Klasifikasi Kualitas Telur Berdasarkan Warna Cangkang Menggunakan Metode Rule-Based Classification

Moh. Aditya Prima Mabruri
Jihan Ike Mawarti

AFILIASI :

Jurusan Fisika, Fakultas
Matematika dan Ilmu
Pengetahuan, Universitas Jember

ALAMAT:

Universitas Jember, Jalan
Kalimantan Tegal Boto, Nomor 37,
Jember, Jawa Timur 68121

KORESPONDENSI:

Jihan Ike Mawarti
jihanikemawarti27@gmail.com
+6285941343832

KATA KUNCI:

Pemantauan Kualitas Telur
Klasifikasi Berbasis Aturan
Sensor Photodiode
Pengukuran Reflektansi LED
Pengujian Non-Destruktif
Klasifikasi Warna Cangkang

JEI

<https://journal.unej.ac.id/JEI>
jei@unej.ac.id
FMIPA UNIVERSITAS JEMBER
ISSN:3032 3398

ABSTRAK

Industri peternakan ayam petelur memegang peran penting dalam penyediaan sumber protein hewani yang berkualitas tinggi dan terjangkau. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh peternak adalah memastikan kualitas telur yang dihasilkan tetap optimal, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk nutrisi pakan. Saat ini, metode penilaian kualitas telur umumnya mahal dan rumit, sehingga sulit diakses oleh peternak kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat yang lebih terjangkau dan efisien dalam memonitor kualitas telur berdasarkan warna cangkang sebagai indikator kualitas menggunakan metode rule-based classification. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran reflektansi cangkang telur menggunakan sensor photodiode dan tiga LED berwarna (merah, hijau, biru) yang terhubung dengan Arduino Uno. Setiap warna LED dinyalakan secara bergantian, dan sensor mengukur intensitas cahaya yang dipantulkan dari cangkang telur. Data reflektansi yang diperoleh dianalisis untuk menentukan rentang reflektansi yang mewakili kategori warna cangkang telur, yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat ini mampu mengklasifikasikan telur berdasarkan warna cangkang dengan akurasi tinggi, mendukung hipotesis bahwa warna cangkang dapat digunakan sebagai indikator kualitas telur. Implikasi penelitian ini menunjukkan potensi alat berbasis Arduino untuk menjadi alternatif yang lebih terjangkau bagi peternak dalam memonitor kualitas telur. Alat ini tidak hanya mudah diakses, tetapi juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan peternak untuk evaluasi kualitas produksi telur. Penelitian ini juga membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut dengan sensor yang lebih canggih guna meningkatkan akurasi dan kapasitas analisis data secara real-time.

PENDAHULUAN

Industri peternakan ayam petelur merupakan salah satu sektor strategis dalam penyediaan sumber protein hewani yang terjangkau dan berkualitas tinggi. Kualitas telur menjadi salah satu indikator utama keberhasilan produksi, karena memengaruhi nilai jual, kepercayaan konsumen, dan daya saing di pasar. Telur dengan kualitas baik ditandai oleh cangkang yang kuat, dan warna yang seragam lebih diminati oleh konsumen dan memiliki harga jual lebih tinggi. Sebaliknya, telur dengan kualitas rendah sering kali mengalami penurunan nilai ekonomis dan bahkan penolakan di pasar tertentu. Oleh karena itu, kemampuan peternak untuk mengetahui kualitas telur secara tepat merupakan faktor penting dalam mempertahankan produktivitas dan profitabilitas usaha peternakan.

Meskipun sudah ada alat yang dapat mendeteksi kualitas telur secara efektif, seperti Fathi et al. (2024) yang menggunakan UV-Vis Spectroscopy untuk mengukur penyerapan cahaya oleh cangkang telur dan melakukan analisis mikrostruktur serta komposisi elemental untuk memahami karakteristik fisik dan kimia dari telur [1], namun alat tersebut cukup mahal dan kompleks, sehingga masih sulit diakses oleh peternak. Oleh karena itu, diperlukan alat yang lebih terjangkau dan efisien untuk membantu peternak dalam memonitor kualitas telur ayam.

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi berbagai teknik non-destruktif untuk menilai kualitas cangkang telur. Misalnya, penelitian oleh Hu et al. (2024) memperkenalkan metode non-destruktif berbasis Low-Field Nuclear Magnetic Resonance (LF-NMR) untuk mengevaluasi kesegaran telur [2]. Dalam penelitian ini, kurva distribusi waktu relaksasi transversal (T_2) dari LF-NMR menunjukkan tiga fase air berbeda dalam telur yang berkorelasi kuat dengan indikator kesegaran, mencapai tingkat akurasi prediksi tertinggi menggunakan jaringan saraf back-propagation (BPNN). Meskipun metode ini menawarkan keakuratan tinggi, peralatan

berbasis LF-NMR tetap mahal dan kurang terjangkau bagi sebagian besar peternak.

Pendekatan teknik spektroskopi yang digunakan pada alat yang dibuat termasuk teknik non-destruktif karena proses analisisnya tidak mengubah atau merusak struktur fisik maupun kimia sampel. Penelitian oleh Loffredi et al. (2021), spektroskopi VIS-NIR, NIR, dan Raman digunakan untuk menilai kualitas cangkang telur dengan memanfaatkan interaksi radiasi elektromagnetik dengan material, seperti penyerapan, hamburan, atau pantulan cahaya. Teknik ini hanya melibatkan pengukuran sifat optik sampel tanpa kontak langsung atau perlakuan yang merusak [3]. Penelitian tersebut menunjukkan bagaimana variasi dalam struktur mikro dan komposisi mineral dapat mempengaruhi penyerapan cahaya pada kualitas cangkang telur. Selain itu, Domel et al. (2024) meneliti pengaruh mineral pada kualitas telur dan menemukan bahwa beberapa mineral kompleks dapat meningkatkan retensi mineral seperti seng, kalsium, dan mangan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa meskipun sumber mineral tidak mempengaruhi kualitas telur secara langsung, kombinasi mineral dengan asam amino dapat meningkatkan retensi mineral yang penting bagi kualitas telur [4]. Davari et al. (2024) menggunakan mikro-Raman spektroskopi dan menemukan bahwa teknik ini dapat menilai kualitas cangkang telur dengan akurasi 80% [5].

Strategi berbasis Near-Infrared (NIR) spectroscopy juga telah dikembangkan oleh Guo et al. (2022) untuk penilaian kesegaran telur asin dengan cepat. Kombinasi antara NIR spectroscopy dengan metode kemometrik, seperti regresi partial least squares (PLSR) dan support vector regression (SVR), menghasilkan tingkat akurasi prediksi tinggi terhadap kesegaran telur. Teknik ini menunjukkan bahwa NIR dapat menjadi metode pendukung dalam penilaian kualitas dan kesegaran telur tanpa merusak struktur telur [6]. Namun, sama seperti metode lainnya, alat NIR juga memiliki keterbatasan biaya yang tinggi.

Mehdzadeh et al. (2014) menggunakan spektroskopi transmisi Vis-IR dan mencapai akurasi 94% dalam menilai kualitas telur. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa spektroskopi Vis-IR dapat digunakan untuk menilai kualitas telur dengan akurasi tinggi menggunakan metode GA-BPNN [7]. Meskipun teknik spektroskopi menawarkan potensi besar dalam penilaian kualitas cangkang telur, peralatan tersebut lebih mahal dan kompleks, yang membuatnya sulit diakses oleh peternak. Penelitian Bogdanskiet al. (2023) juga menemukan bahwa parameter genetik memainkan peran penting dalam memengaruhi kualitas produksi, karakteristik telur, dan warna cangkang telur. Studi tersebut mengevaluasi parameter genetik dari 2030 telur yang dihasilkan oleh 645 ayam petelur dari delapan galur ayam di Brasil, yang menunjukkan korelasi genetik yang moderat hingga tinggi antara warna cangkang dengan sifat kualitas cangkang seperti kekuatan (ESS) dan ketebalan (EST) [8]. Walaupun faktor genetik memiliki pengaruh besar terhadap kualitas telur, belum ada pembahasan mengenai bagaimana penerapan teknik penilaian yang lebih terjangkau dan mudah diakses oleh peternak

Metode rule-based classification terbukti sangat efektif dalam mengklasifikasikan data, seperti dalam penelitian Cavaliere et al. (2024) yang menggunakan skema kontrol modular berbasis fuzzy untuk memantau kesehatan tanaman melalui indeks spektral, mencapai akurasi lebih dari 90% [9]. Potensi besar metode ini untuk pemantauan kualitas yang cerdas dan efisien sangat relevan dalam mengklasifikasi reflektansi cangkang telur sebagai indikator kualitas telur. Pembuatan instrumen yang dapat mengidentifikasi dan mengklasifikasikan sampel telur ayam pada sebuah peternakan mempermudah para peternak untuk mengetahui kualitas produksi mereka. Instrumen yang dibuat diintegrasikan dengan machine learning sebagai sistem yang mengolah data yang diambil untuk diklasifikasikan. Rule-based classification memungkinkan pembuatan aturan spesifik yang dapat mendeteksi perubahan

reflektansi cangkang telur terkait kualitas telur. Selain lebih terjangkau daripada teknologi spektroskopi, metode ini juga fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan peternak, sehingga memberikan informasi akurat mengenai kualitas telur dan daya saing di pasar.

Pendekatan berbasis rule-based classification terbukti sangat efektif dalam mengklasifikasikan data secara akurat dan efisien. Misalnya, Ghosh et al. (2021) menggunakan klasifikasi berbasis aturan untuk menganalisis intensitas tanam menggunakan data Sentinel-2 multi-temporal, dengan mencapai akurasi lebih dari 87% dalam klasifikasi sistem dan intensitas tanam [10].

Penelitian ini menunjukkan bahwa rule-based classification dapat digunakan untuk menganalisis data reflektansi guna menentukan keberadaan atau kondisi objek yang diukur, sehingga relevan dalam konteks klasifikasi reflektansi cangkang telur. Metode ini memungkinkan pembuatan aturan spesifik yang dapat mendeteksi perubahan reflektansi cangkang telur terkait kualitas telur. Selain lebih terjangkau daripada teknologi spektroskopi, metode ini juga fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan peternak, sehingga memberikan informasi akurat mengenai kualitas telur dan daya saing di pasar.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan alternatif bagi para peternak agar dapat mendeteksi kualitas dan standar kelayakan telur melalui klasifikasi reflektansi cangkang telur menggunakan metode rule-based classification. Adanya klasifikasi ini, peternak dapat memperoleh informasi yang akurat mengenai telur yang dihasilkan memenuhi standar kualitas, sehingga dapat dikelola dan dipasarkan dengan lebih baik. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi yang lebih terjangkau dan mudah diimplementasikan, yang mendukung pengelolaan kualitas telur secara efektif.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen kuantitatif untuk mengevaluasi kemampuan alat dalam mengklasifikasikan kualitas telur ayam berdasarkan warna cangkang melalui pengukuran nilai reflektansi cahaya LED. Desain eksperimental ini dipilih untuk memastikan bahwa pengukuran reflektansi dan klasifikasi warna dapat dilakukan secara sistematis dan terkontrol, sehingga hasil yang diperoleh dapat diandalkan. Data diperoleh dari salah satu pedagang telur ayam di Pasar Tanjung, Jember, dengan tiga variasi warna cangkang telur yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown.

Variabel independen adalah variabel yang diklasifikasikan untuk mengamati pengaruhnya. Variabel independen yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu warna cangkang telur, yang terdiri dari tiga kategori, yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown. Variabel dependen adalah variabel yang diukur pada penelitian kali ini dan dipengaruhi oleh variabel independen. Variabel dependen pada penelitian ini yaitu kualitas telur yang diukur berdasarkan nilai reflektansi dari cangkang telur ayam.

Data yang Dikumpulkan

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah nilai reflektansi dari cangkang telur yang diukur menggunakan intensitas cahaya LED berwarna merah, hijau, dan biru. Setiap pengukuran dilakukan dalam kondisi yang sama menggunakan sensor photodiode, dan alat pengukur yang telah dikalibrasi sebelumnya. Data kuantitatif yang diperoleh berupa nilai intensitas reflektansi dari tiap LED pada warna cangkang telur yang berbeda.

Jumlah dan Jenis Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif berupa nilai reflektansi dari cangkang telur yang diukur menggunakan intensitas cahaya LED dengan tiga warna berbeda, yaitu merah, hijau, dan biru. Setiap sampel telur akan diukur dengan tiga variasi warna cangkang yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown. Setiap

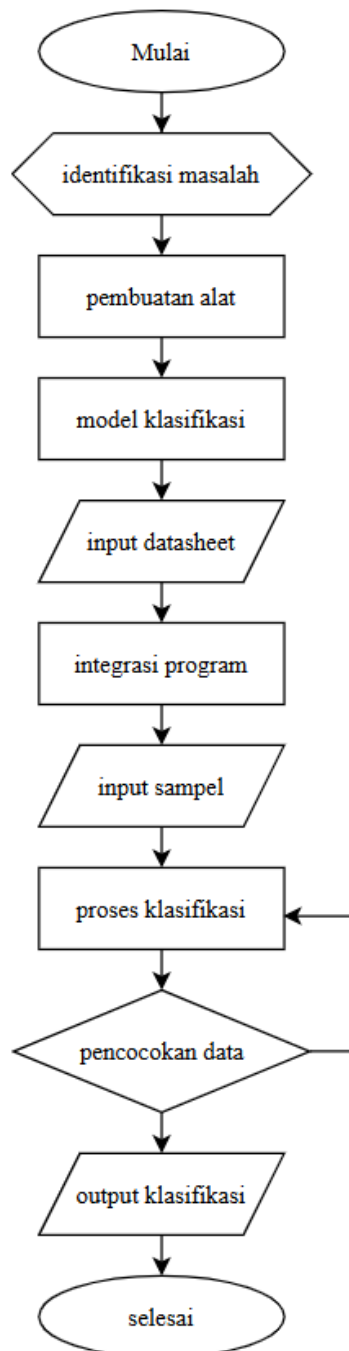
pengukuran melibatkan tiga jenis cahaya LED yang berbeda, yang akan memberikan tiga nilai reflektansi untuk setiap variasi warna cangkang telur. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 500 sampel telur yang diambil secara acak dari pedagang telur di Pasar Tanjung, Jember. Masing-masing sampel telur akan diuji untuk ketiga variasi warna cangkang, yang berarti ada tiga pengukuran reflektansi yang dilakukan pada setiap sampel telur.

Variasi dan Cara Memilih Sampel

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan tiga warna cangkang telur yang berbeda yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown. Variasi warna cangkang telur ini dipilih karena representatif terhadap perbedaan warna yang sering ditemui di pasar, dan dapat memengaruhi reflektansi cahaya LED. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan tiga jenis cahaya LED dengan warna merah, hijau, dan biru, untuk mengukur reflektansi pada setiap sampel telur. Sampel telur diambil secara acak dari salah satu pedagang telur ayam di Pasar Tanjung, Jember, dengan tujuan memastikan bahwa sampel yang diambil mewakili telur yang ada di pasar. Setiap telur yang dipilih akan diuji untuk ketiga variasi warna cangkang untuk memastikan bahwa data yang diperoleh mencakup seluruh variasi yang ada di populasi telur yang dijual.

Prosedur Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, prosedur penelitian dimulai dengan identifikasi masalah. Masalah yang diangkat yaitu kurangnya pemantauan terhadap kualitas telur yang dihasilkan oleh peternak ayam petelur. Maka dari itu dibuatlah alat yang dapat mengklasifikasikan kualitas telur yang dihasilkan peternak. Klasifikasi dilakukan dengan memanfaatkan pendekatan spektroskopi pemantulan cahaya dari cangkang telur. Nilai yang diklasifikasikan yaitu nilai intensitas terukur dari tiga warna LED (merah, hijau, dan biru) yang diarahkan pada telur. 500 sampel data telur yang telah diambil digunakan sebagai datasheet nilai reflektansi. Pembagian klasifikasi dibagi menjadi tiga yaitu Brown, Faded Brown, dan Off-White Brown.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Metode Rule-Based Classification diintegrasikan pada alat berdasarkan data nilai reflektansi yang telah didapat. Instrumen yang telah dibuat akan otomatis mengklasifikasikan sampel telur yang dimasukan dengan mencocokkan nilai reflektansi sampel telur dengan data reflektansi yang ada. Output klasifikasi akan ditampilkan langsung pada layar LCD yang ada pada alat.

Alat digunakan dengan memasukkan sampel telur ke dalam alat yang telah dirancang khusus untuk mengukur reflektansi. Alat ini didesain tertutup untuk mencegah gangguan cahaya dari luar yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Selanjutnya, LED yang terhubung dengan Arduino akan menyala bergantian, dimulai dari LED merah, kemudian hijau, dan biru. Setiap kali LED menyala, sensor photodiode akan mengukur reflektansi cahaya yang dipantulkan dari cangkang telur. Kemudian, data reflektansi yang terkumpul dianalisis untuk diklasifikasikan pada kategori cangkang telur yang berbeda (brown, Faded brown, off-white brown).

4. Analisis Data:

Data reflektansi yang terkumpul dianalisis untuk menemukan rentang reflektansi yang mewakili setiap kategori warna telur. Berdasarkan analisis ini, klasifikasi berbasis aturan (rule-based classification) disusun untuk memungkinkan Arduino mengidentifikasi warna cangkang telur berdasarkan nilai reflektansi yang terukur. Setiap sampel yang diukur kemudian diuji menggunakan aturan klasifikasi yang telah dibuat untuk memastikan keakuratan alat dalam mengidentifikasi kategori warna telur.

Setelah data reflektansi terkumpul dari setiap sampel telur, langkah pertama dalam analisis data adalah mengidentifikasi rentang nilai reflektansi untuk setiap kategori warna cangkang telur (brown, Faded brown, dan off-white brown) berdasarkan pengukuran yang dilakukan dengan tiga warna LED (merah, hijau, dan biru). Setelah rentang nilai reflektansi diperoleh untuk masing-masing warna cangkang telur, dilakukan penyusunan aturan klasifikasi berbasis reflektansi (rule-based classification). Aturan klasifikasi ini didasarkan pada analisis rentang nilai reflektansi untuk masing-masing warna LED. Misalnya, jika nilai reflektansi untuk LED merah pada suatu sampel berada dalam rentang tertentu yang telah ditentukan untuk kategori warna "brown", maka sampel tersebut akan diklasifikasikan sebagai telur dengan cangkang berwarna brown.

Setelah aturan klasifikasi dibuat, setiap sampel telur yang baru akan diuji untuk memastikan bahwa pengukuran reflektansi yang diperoleh sesuai dengan rentang nilai reflektansi yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan menggunakan Arduino yang sudah diprogram dengan skrip untuk menerapkan aturan klasifikasi yang telah disusun. Hasil pengklasifikasian kemudian dicatat dan dibandingkan dengan data yang sebenarnya untuk mengukur tingkat akurasi sistem.

Validasi dan Pengendalian Kesalahan

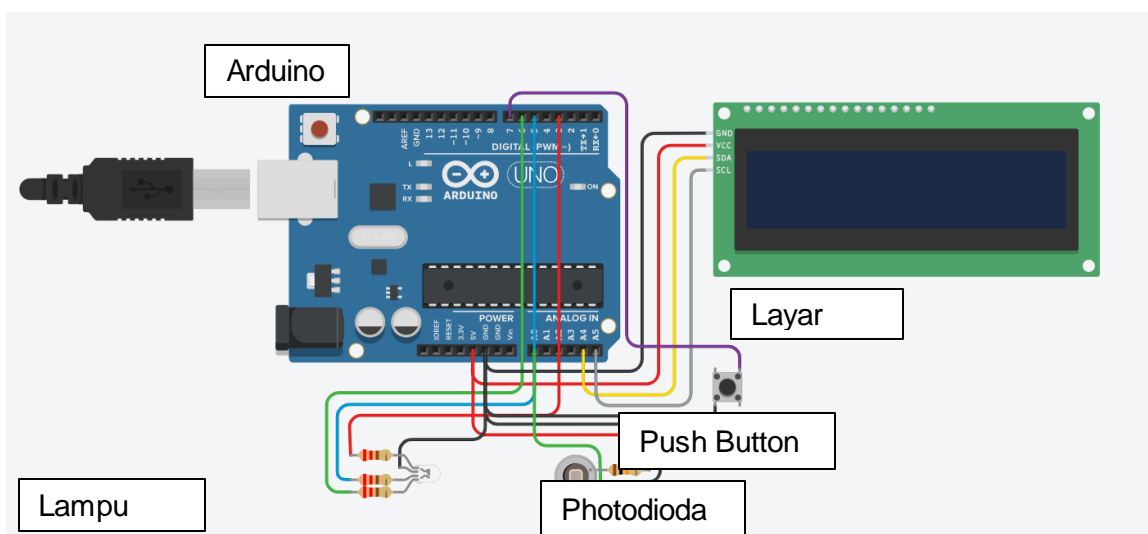
Untuk menghindari bias pengukuran, alat pengukur dirancang dalam kondisi tertutup sehingga tidak ada cahaya eksternal yang dapat masuk dan memengaruhi hasil pengukuran. Selain itu, Arduino yang digunakan dalam eksperimen ini disuplai dengan daya dari perangkat laptop yang sama untuk memastikan kestabilan daya selama pengukuran berlangsung. Setiap sensor dikalibrasi sebelum digunakan untuk memastikan keakuratan pengukuran reflektansi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 2, instrumen yang terdapat pada alat disusun dari berbagai

komponen elektronik. Push Button pada instrument digunakan untuk memulai proses pengukuran. Lampu LED akan menyala bergantian dan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh cangkang telur akan ditangkap oleh Photodioda. Nilai intensitas akan diolah pada Arduino dan diklasifikasikan lalu layar LCD akan menampilkan hasil klasifikasi.

Alat pengukur reflektansi cangkang telur untuk menilai kualitas telur telah direalisasikan dengan menggunakan sensor photodioda dan LED berwarna merah, hijau, serta biru. Photodioda berfungsi sebagai penerima cahaya yang dipantulkan dari permukaan cangkang telur, sementara LED digunakan sebagai sumber cahaya dengan masing-masing warna yang menyala secara bergantian. Nilai reflektansi yang terukur ditampilkan pada layar LCD 16x2 karakter, yang terhubung melalui komunikasi I2C ke mikrokontroler Arduino Uno R3. Pengaktifan dan pengukuran reflektansi dapat dikendalikan melalui tombol push-button yang juga terhubung ke Arduino. Alat ini didesain dengan wadah tertutup untuk mencegah gangguan cahaya dari luar, memastikan akurasi dalam proses pengukuran reflektansi cangkang telur



Gambar 2. Skema desain rangkaian pengukuran



Gambar 3. Hasil pengukuran brown



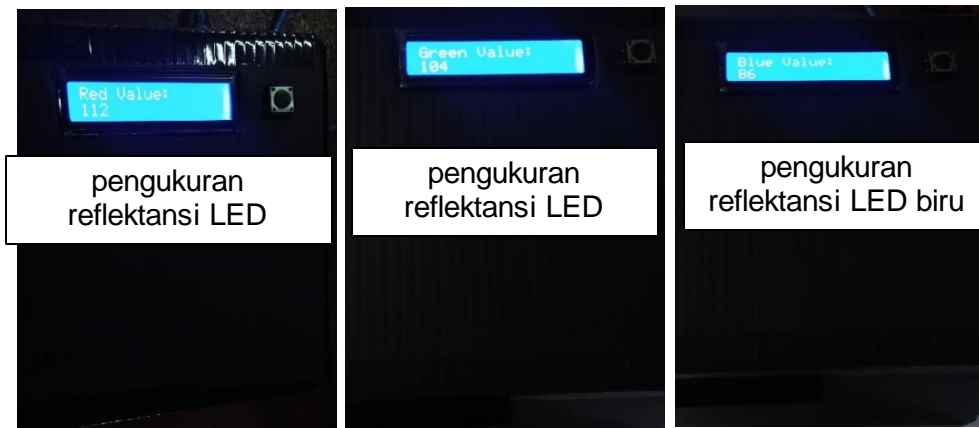
Gambar 4. Hasil pengukuran Faded brown



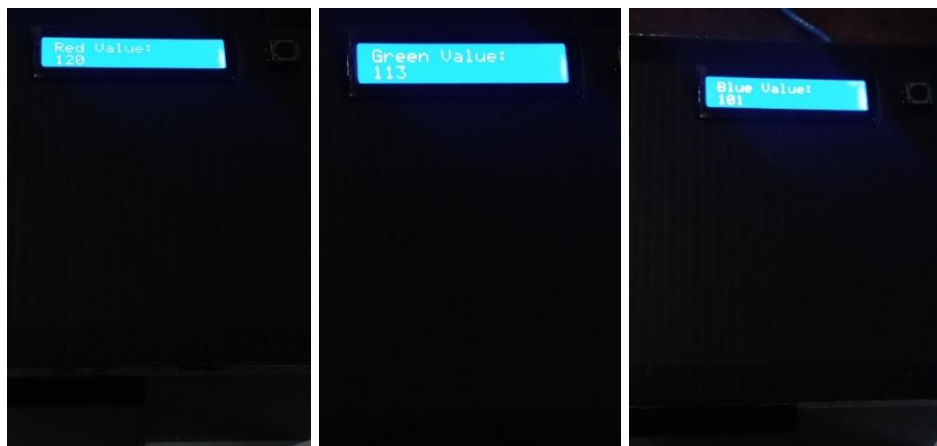
Gambar 5. Hasil pengukuran off-white brown

Hipotesis penelitian ini adalah apakah alat yang digunakan mampu mengklasifikasikan kualitas telur ayam berdasarkan warna cangkangnya. Berdasarkan hasil eksperimen, alat ini berhasil mengklasifikasikan telur menjadi tiga kategori warna, yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown. Hasil ini mendukung hipotesis bahwa alat yang dirancang dapat mengklasifikasikan warna cangkang telur dengan baik. Hal ini juga menunjukkan bahwa perbedaan warna cangkang telur dapat dijadikan indikator untuk penilaian kualitas berdasarkan klasifikasi reflektansi warna cangkang telur.

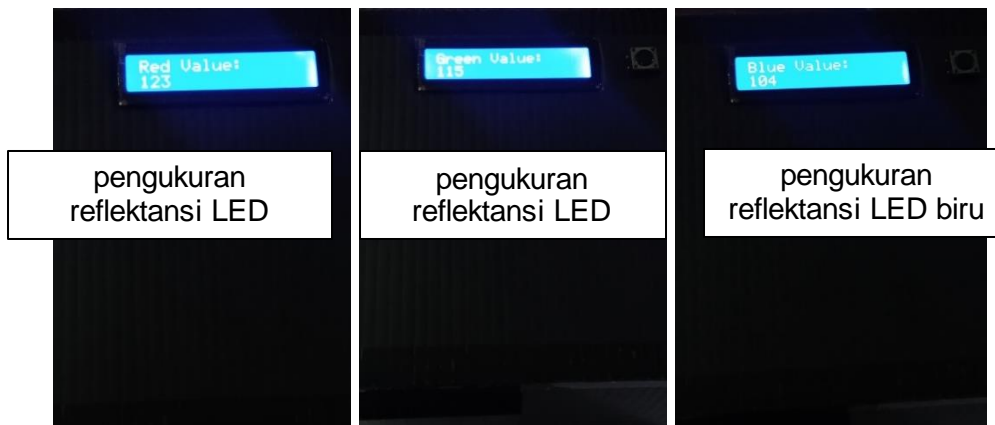
Berdasarkan Tabel 1, Pengklasifikasian dilakukan dengan nilai reflektansi cangkang telur yang diperoleh dari pengukuran menggunakan sensor photodiode. Ketika diterangi oleh LED dengan panjang gelombang tertentu (merah, hijau, biru), setiap warna cangkang telur menghasilkan nilai reflektansi yang berbeda. Nilai reflektansi ini kemudian dikelompokkan ke dalam rentang tertentu untuk menentukan kategori warna. Warna brown memiliki rentang nilai reflektansi yaitu red value 90-115, green value 95-108, blue value 83-89. Warna Faded brown memiliki rentang nilai reflektansi yaitu red value 116-122, green value 109-114, blue value 90-103. Warna off-white brown memiliki rentang nilai reflektansi yaitu red value 123-129, green value 115-129, blue value 104-109. Proses pengukuran dilakukan pada 500 telur untuk memastikan konsistensi dan akurasi alat. Berdasarkan 500 pengujian telur yang dilakukan dengan jumlah telur brown 157, Faded brown 246, dan off-white brown 97, hasil pengukuran tersebut digunakan sebagai data klasifikasi. Validasi alat dilakukan dengan mengukur 10 sampel telur dengan warna berbeda yang diambil secara acak. Ketika alat digunakan untuk mengukur sampel, alat berhasil mengklasifikasikan telur dengan akurasi 100% yang menunjukkan kemampuan alat yang sangat baik dalam mengukur dan mengelompokkan warna cangkang berdasarkan nilai reflektansi.



Gambar 6. Nilai reflektansi telur brown pada LED red, green, blue



Gambar 7. Nilai reflektansi telur Faded-brown pada LED red, green, blue



Gambar 8. Nilai reflektansi telur off-white brown pada LED red, green, blue

Tabel 1. Nilai pengklasifikasi hasil pengukuran

Klasifikasi	Jumlah Sampel	Nilai Reflektansi		
		Merah	Hijau	Biru
Brown	157	90-115	95-108	83-89
Faded Brown	246	116-122	109-114	90-103
Off-White Brown	97	123-129	115-129	104-109

Hasil dari penelitian ini konsisten dengan temuan sebelumnya dalam bidang klasifikasi kualitas telur berdasarkan warna cangkang. Sebagai contoh, penelitian oleh Nurdiyansyah menggunakan metode pencitraan digital untuk mengekstrak nilai RGB dari gambar telur, yang kemudian diklasifikasikan menggunakan metode Convolutional Neural Network (CNN) [11]. Sementara penelitian ini menggunakan metode yang lebih sederhana, yaitu pengukuran reflektansi secara langsung dengan LED dan photodiode, serta klasifikasi berbasis aturan (*rule-based classification*). Meskipun metode yang digunakan berbeda, hasil yang diperoleh tetap konsisten, menunjukkan bahwa baik pencitraan digital maupun pengukuran reflektansi dapat dijadikan dasar untuk klasifikasi warna cangkang telur.

Implikasi dari penelitian ini menunjukkan bahwa rangkaian sederhana berbasis Arduino dapat menjadi alternatif yang lebih terjangkau untuk prosedur spektroskopi yang biasanya mahal. Dengan menggunakan pendekatan seperti ini, di masa depan akan ada peluang lebih besar untuk eksplorasi aplikasi spektroskopi pada berbagai objek atau bahan lain dengan biaya yang lebih rendah.

Dari sisi aplikasi praktis, alat ini berpotensi digunakan oleh peternak kecil untuk menilai kualitas produksi telur mereka. Peternak dapat menggunakan alat ini untuk memprediksi kualitas telur yang dihasilkan dan menentukan harga jual yang sesuai. Selain itu, apabila kualitas telur yang dihasilkan tidak memenuhi standar, peternak dapat menggunakan informasi dari klasifikasi ini untuk melakukan evaluasi terhadap kondisi produksi dan melakukan perbaikan untuk menghasilkan telur dengan kualitas yang lebih baik.

Keterbatasan utama dari penelitian ini adalah keterbatasan mikrokontroler yang digunakan, khususnya dalam hal RAM dan kapasitas pengolahan data. Mikrokontroler yang digunakan tidak memiliki kapasitas RAM

yang cukup besar dan kemampuan pemrosesan data yang mumpuni, yang dapat mempengaruhi efisiensi klasifikasi ketika data lebih kompleks. Untuk penelitian selanjutnya, perbaikan dapat dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler yang lebih canggih, memiliki RAM yang lebih besar, mendukung pengolahan data yang lebih baik, dan mampu terhubung dengan Internet of Things (IoT) untuk penyimpanan dan analisis data secara real-time.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan alat pengukur reflektansi cangkang telur berbasis photodiode dan LED, yang mampu mengklasifikasikan telur menjadi tiga kategori warna, yaitu brown, Faded brown, dan off-white brown dengan akurasi mencapai 100% dari 500 pengujian. Proses klasifikasi dilakukan menggunakan metode *rule-based classification*, dimana nilai reflektansi dari masing-masing warna cangkang menjadi dasar pengelompokan. Hasil ini menunjukkan bahwa alat dapat diandalkan untuk mendeteksi dan mengelompokkan warna cangkang telur berdasarkan nilai reflektansi secara sederhana dan efisien. Alat ini akan menjadi solusi praktis dan ekonomis bagi peternak untuk menilai kualitas telur, sehingga mendukung peningkatan harga jual dan daya saing di pasar.

Saran untuk Penelitian Selanjutnya yaitu penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan alat dengan teknologi IoT untuk penyimpanan data real-time dan analisis berbasis cloud. Selain itu, penambahan parameter seperti ketebalan atau tingkat kebersihan cangkang dapat memberikan analisis kualitas yang lebih komprehensif. Optimasi perangkat keras dengan mikrokontroler berkapasitas lebih besar juga disarankan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan data. Uji coba pada berbagai jenis telur dari spesies unggas lain juga dapat menguji kelayakan metode klasifikasi ini

DEKLARASI

Penulis dengan ini menyatakan bahwa dalam pelaksanaan penelitian ini tidak terdapat konflik kepentingan pribadi atau profesional yang dapat mempengaruhi hasil atau interpretasi data yang disajikan. Seluruh proses penelitian, mulai dari perancangan hingga penyajian hasil, dilakukan secara objektif, tanpa adanya pengaruh atau tekanan dari pihak ketiga yang berkepentingan. Selain itu, penelitian ini juga dilaksanakan dengan mengedepankan prinsip etika penelitian yang terbebas dari unsur SARA (Suku, Agama, Ras, dan Antar Golongan), memastikan bahwa seluruh prosedur, analisis, dan interpretasi data dilakukan secara adil, netral, dan tidak diskriminatif. Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dan bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan tanpa menimbulkan bias atau potensi konflik yang merugikan.

REFERENSI

- [1] M. B. Fathi and Z. Taghizadeh RahmatAbadi, "Eggshell microstructure, shell quality indices, mineralogy, and UV-Vis absorbance of domestic eggs of Iran," *J. Photochem. Photobiol.*, vol. 21, no. March, p. 100235, 2024, doi: [10.1016/j.jpap.2024.100235](https://doi.org/10.1016/j.jpap.2024.100235).
- [2] K. F. M. Hu, M. Zhao, L. Qi, D. Li, X. Wang, Z. Li, S. Zhao, and K. Fan, "Non-destructive inspection method for egg freshness evaluation via low-field nuclear magnetic resonance technology," *J. Food Meas. Charact.*, vol. 18, pp. 7295–7307, 2024, doi: [10.1007/s11694-024-02678-5](https://doi.org/10.1007/s11694-024-02678-5).
- [3] C. A. E. Loffredi, S. Grassi, "Spectroscopic approaches for non-destructive shell egg quality and freshness evaluation: Opportunities and challenges," *Food Control*, vol. 129, p. 108255, 2021, doi: [10.1016/j.foodcont.2021.108255](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108255).
- [4] J. R. Domel, G. M. House, E. B. Sobotik, and G. S. Archer, "Evaluation of Egg Quality and Performance in Late-Lay Hens Fed Different Combinations of Copper, Manganese, and Zinc Complexed with Sulfate or Amino Acid Ion," *Poultry*, vol. 3, no. 1, pp. 36–46, 2024, doi: [10.3390/poultry3010004](https://doi.org/10.3390/poultry3010004).
- [5] M. Davari, M. Bahreini, and Z. Sabzevari, "Developing a non-destructive method for the detection of egg quality and freshness using micro-Raman spectroscopy," *Appl. Food Res.*, vol. 4, no. 2, p. 100453, 2024, doi: [10.1016/j.afres.2024.100453](https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100453).
- [6] L. H. H. Guo, Z. Bao, S. Zhang, Y. Ran, R. Ning, Y. Li, J. Zhang, J. Li, Q. Liu, "A novel NIR-based strategy for rapid freshness assessment of preserved eggs," *Food Anal. Methods*, vol. 15, pp. 1457–1469, 2022, doi: [10.1007/s12161-021-02218-7](https://doi.org/10.1007/s12161-021-02218-7).
- [7] S. Abdanan Mehdizadeh, S. Minaei, N. H. Hancock, and M. A. Karimi Torshizi, "An intelligent system for egg quality classification based on visible-infrared transmittance spectroscopy," *Inf. Process. Agric.*, vol. 1, no. 2, pp. 105–114, 2014, doi: [10.1016/j.inpa.2014.10.002](https://doi.org/10.1016/j.inpa.2014.10.002).
- [8] G. B. M. F. A. Bogdanski, R. M. F. Silveira, G. A. Rovadoscki, V. Franzo, I. C. Gervásio, D. Y. O. Escobar, B. D. Dauria, A. N. Meira, L. M. B. Mourão, L. L. Coutinho, C. C. Pizzolante, J. E. de Moraes, "Genetic parameters for production, quality, and colors from eggs in Brazilian lineages of chickens," *Trop. Anim. Health Prod.*, vol. 55, p. 148, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03554-y>.
- [9] D. Cavaliere, S. Senatore, and V. Loia, "Crop health assessment through hierarchical fuzzy rule-based status maps," *Knowl. Inf. Syst.*, vol. 66, no. 11, pp. 7109–7136, 2024, doi: [10.1007/s10115-024-02180-w](https://doi.org/10.1007/s10115-024-02180-w).

- [10] D. S. A. Ghosh, M. K. Nanda, "Assessing the spatial variation of cropping intensity using multi-temporal Sentinel-2 data by rule-based classification," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 24, pp. 10829–10851, 2022, doi: [10.1007/s10668-021-01885-0](https://doi.org/10.1007/s10668-021-01885-0).
- [11] F. Nurdiyansyah, S. Fatriana Kadir, I. Akbar, and L. Ursaputra, "Penerapan Convolutional Neural Network Untuk Deteksi Kualitas Telur Ayam Ras Berdasarkan Warna Cangkang," *J. Mnemon.*, vol. 7, no. 1, pp. 40–47, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/mnemonic.v7i1.8767>.