

Contents list available at www.jurnal.unimed.ac.id

CESS
(Journal of Computing Engineering, System and Science)

journal homepage: <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/cess>



Penerapan Fuzzy Mamdani Pada Sistem Klasifikasi Kualitas Telur Bebek Berbasis Arduino

Application of Fuzzy Mamdani on Arduino-based Duck Egg Quality Classification

Ranny Prastika¹, Irma Nirmala^{2*}, Tedy Rismawan³

^{1,2,3}Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Bansir Laut, Kec. Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat

email: ¹rannyprastika@student.untan.ac.id, ²irma.nirmala@siskom.untan.ac.id,
³tedyrismawan@siskom.untan.ac.id

ABSTRAK

Telur bebek adalah jenis telur yang memiliki sumber protein tinggi. Pada pemanfaatannya, dapat diolah menjadi kue, telur asin dan obat – obatan. Agar menghasilkan olahan yang berkualitas, maka proses pemilahan kualitas telur perlu dilakukan. Dalam implementasinya, membagi telur berdasarkan tingkat kualitas masih dilakukan secara manual menggunakan indera penglihatan manusia. Pada penelitian ini, dikembangkan sistem yang dapat melakukan klasifikasi terhadap kualitas telur bebek. Sensor yang digunakan adalah load cell dan LDR sebagai pembaca nilai bobot serta intensitas cahaya. Untuk pengambilan keputusan dalam klasifikasi kualitas telur digunakan metode fuzzy mamdani. Data dari sensor digunakan sebagai variabel masukan, sedangkan variabel keluaran berupa kualitas telur, yaitu baik dan buruk. Pengujian dilakukan pada 40 data sampel telur bebek menggunakan metode fuzzy mamdani dan terdapat 37 data sampel yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hasil pengujian dengan menggunakan confusion matrix didapatkan tingkat akurasi sebesar 92.5%.

Kata Kunci: *Klasifikasi, telur bebek, fuzzy mamdani, load cell, LDR*

ABSTRACT

Duck eggs are a type of egg that has a high source of protein. They can be processed into cakes, salted eggs, and medicines for utilization. To produce high-quality products, it's necessary to sort the egg's quality. In practice, the classification of duck egg quality is still done manually using human vision. In this research, a system was developed to classify the quality of duck eggs. The sensors used are a load cell to measure weight and an LDR sensor to measure light intensity. The fuzzy Mamdani method is used for decision-making in egg quality classification. Sensor data is used as input variables, while the output variable is egg quality, which is categorized as good or bad. Testing was conducted on 40 samples of duck eggs using

*Penulis Korespondensi:
email: irma.nirmala@siskom.untan.ac.id

the fuzzy Mamdani method, and 37 samples matched the actual conditions. The testing results, using a confusion matrix, showed an accuracy rate of 92.5%.

Keywords: *Classification, duck eggs, fuzzy mamdani, load cell, LDR*

1. PENDAHULUAN

Telur bebek yaitu telur yang memiliki protein tinggi, sehingga disarankan dalam konsumsi anak masa pertumbuhan, ibu hamil hingga menyusui dan lanjut usia. Pemanfaatan telur ini digunakan dalam pengolahan beraneka produk seperti kue, telur asin maupun obat – obatan. Dalam menghasilkan produk yang berkualitas, maka dibutuhkan juga telur dengan kualitas yang baik [1]. Ciri – ciri dari kualitas telur yang baik, diantaranya memiliki kuning telur berbentuk bulat, putih telur tidak encer, cangkang telur tidak retak dan tidak berbau busuk [2]. Untuk mendapatkan telur bebek yang memiliki kualitas baik, maka proses pemilahan berperan penting bagi sebuah peternakan dalam menentukan kualitas telur yang akan dipasarkan.

Lama penyimpanan telur di peternakan dapat mengalami perubahan kualitas dari telur. Hal ini dikarenakan terjadinya penguapan cairan di dalam telur [3]. Saat ini beberapa peternakan telur bebek masih menggunakan cara manual untuk membagi telur berdasarkan kualitasnya yaitu baik dan buruk dalam menjaga mutu telur sebelum dijual ke konsumen. Cara manual yang digunakan adalah dengan cara meletakkan telur kedalam wadah berisi air atau meneropong telur dengan menggunakan senter. Hal tersebut kurang efektif, karena faktor keterbatasan indera penglihatan manusia dengan jumlah telur yang tidak sedikit sehingga memerlukan waktu relatif lama. Selain itu, klasifikasi kualitas telur dengan cara memecahkan cangkang untuk melihat bagian dalamnya, tidak dapat diterapkan. Kondisi ini menyebabkan perlu adanya suatu sistem yang bisa membantu peternak untuk melakukan klasifikasi kualitas telur bebek tanpa harus dilakukan secara manual.

Klasifikasi yaitu proses mengkategorikan objek berdasarkan kelasnya [4]. Metode yang bisa diterapkan dalam mengklasifikasikan kualitas telur bebek, salah satunya yaitu logika *fuzzy*. Metode logika *fuzzy* merupakan sebuah aturan dalam memetakan masalah dari masukkan menuju keluaran yang diharapkan. Dalam teori himpunan, sebuah objek dapat menjadi anggota beberapa himpunan dengan memiliki derajat keanggotaan yang berbeda pada setiap himpunan. Terdapat beberapa bagian pada sistem inferensi *fuzzy*, salah satunya adalah *fuzzy mamdani* [5]. Kelebihan *fuzzy mamdani* dibandingkan metode lainnya adalah lebih fleksibel, lebih intuitif dan memiliki toleransi pada data yang ada. Pada proses penganalisaannya memakai aturan - aturan linguistik serta mempunyai algoritma yang bisa dianalisis secara matematis membuat lebih gampang untuk dimengerti [6].

Pada penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Fadil dkk. pada tahun 2018 menggunakan sensor *light dependent resistor* (LDR) sebagai alat pembaca intensitas cahaya pada telur. Untuk antarmuka yang memberitahukan hasil pendeteksi menggunakan *liquid crystal display* (LCD) [7]. Penelitian lain juga pernah dilakukan oleh Aristiano dkk. pada tahun 2020 menggunakan sensor *load cell* sebagai alat pembaca bobot telur. Proses sortir telur dilakukan dengan bantuan konveyor dan motor *servo* [8]. Dalam penelitian Utama pada tahun 2022 menggunakan sensor cahaya dan bobot yakni LDR dan *load cell*. Penyortiran dilakukan menggunakan motor *servo* terhadap kualitas telur yang baik dan buruk [9].

Di tahun 2019 oleh Wantoro dkk. menggunakan *fuzzy tsukamoto* untuk pengambilan keputusan dalam menentukan kelayakan kualitas telur. Penentuan kualitas berdasarkan

bobot, putih dan kuning telur [1]. Untuk penelitian lainnya oleh Christover dkk. pada tahun 2019 menggunakan sensor cahaya BH1750 dan gas MQ2 yang digunakan sebagai masukan dalam logika fuzzy. Untuk metodenya digunakan logika *fuzzy* mamdani [10].

Berdasarkan dari masalah yang telah dipaparkan, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem klasifikasi kualitas telur bebek dengan menggunakan metode logika *fuzzy*. Sistem akan menerapkan metode *fuzzy* mamdani dalam mengklasifikasi kualitas telur bebek sesuai tingkat kualitasnya terhadap masukan dari sensor *load cell* serta LDR. Sensor *load cell* sebagai pembaca bobot telur. Sensor LDR sebagai pembaca intensitas cahaya. Klasifikasi telur bebek menggunakan media penggerak yaitu konveyor yang membawa telur ke tempat penentu kualitas. Pada konveyor dipasang aktuator seperti motor *servo* sebagai pengarah telur ke tempat wadah kualitas baik atau buruk. Proses klasifikasi kualitas telur ini dilakukan untuk melihat hasil kesesuaiannya terhadap kualitas sebenarnya. Hasil data klasifikasi pada sebuah telur akan ditampilkan pada LCD yang terdiri dari nilai bobot, intensitas cahaya, nilai logika *fuzzy* dan kualitas.

2. DASAR/TINJAUAN TEORI

2.1. Perangkat Keras

Telur bebek memiliki gizi yang lebih tinggi jika dibanding telur unggas lainnya, yaitu mengandung mengandung 13% protein, 12% lemak, mineral, asam pantotenat, vitamin A, B6, B12 serta E [11]. Terdapat banyak jenis bebek petelur yang berpotensi untuk dibudidayakan. Pada penelitian ini, jenis bebek yang digunakan adalah bebek alabio. Bebek alabio (*Anas Platyrhynchos Borneo*) berasal dari sumber daya alam genetik di Kalimantan Selatan yang memiliki keunggulan dalam menghasilkan telur yang tinggi [12]. Kualitas telur, dapat dilihat dari aspek eksternal dan internal. Pada aspek eksternal dari bobot, aroma serta indeks bentuk telur. Sedangkan aspek internal dari keadaan kuning serta putih telur [13].

Pada penelitian ini, pengendali sistem menggunakan Arduino Uno R3. Arduino Uno Revisi 3 (R3) memakai chip mikrokontroler Atmel AVR ATmega328P [14]. Untuk sensor yang digunakan adalah sensor *load cell* dan LDR. Sensor *load cell* terdiri dari empat pengukur regangan (*strain gauges*) dalam *wheatstone bridge configuration* [15]. Modul HX711 berfungsi meningkatkan sinyal keluaran sensor *load cell* yang akan mengubah dari data analog menjadi data digital dan data pembacaannya dapat diproses oleh mikrokontroler [15]. Sementara sensor LDR memiliki prinsip kerja ketika saat rendahnya intensitas cahaya maka nilai resistansinya besar. Sebaliknya, semakin tingginya intensitas cahaya maka nilai resistansi yang kecil [14]. Perangkat lainnya yaitu LED HPL yang berfungsi memancarkan sinar monokromatik terhadap telur bebek pada dikala diberikan tegangan maju [16]. Selanjutnya motor *servo* MG90S dengan tipe motor servo *rotation* standard yang berputar dari 0° hingga 180° [17]. Untuk *liquid crystal display* (LCD) menampilkan informasi yang diinginkan dari beberapa susunan karakter, salah satunya adalah LCD 20x4 yang mampu menampilkan 20 kolom dan 4 baris [18]. Penghematan pin pada LCD menggunakan modul I2C yang diatur dalam pengiriman serta penerimaan data terhadap modul dan operatornya [16].

2.2. Logika Fuzzy

Pada logika *fuzzy*, rentang nilai anggota berkisar 0 hingga 1 yang dipakai dalam menunjukkan seberapa jauh nilai tersebut benar atau salah. Pada penelitian ini, metode *fuzzy* mamdani digunakan untuk pengambil keputusan dalam menentukan kualitas telur bebek. Untuk memperoleh keluaran *fuzzy* mamdani, dilakukan empat langkah yaitu pembuatan

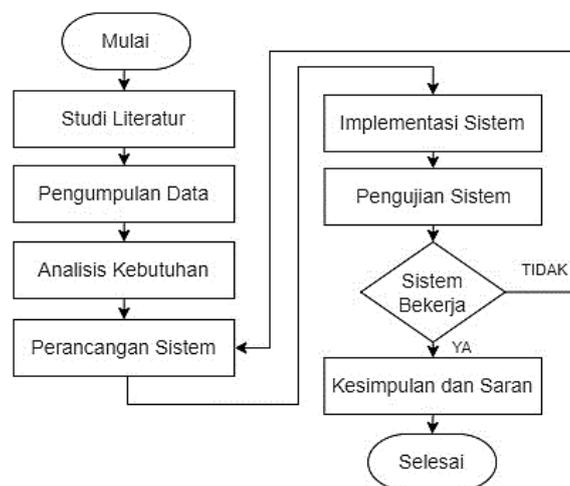
fuzzifikasi, selanjutnya diaplikasikan fungsi implikasi, kemudian komposisi peraturan serta terakhir defuzzifikasi dengan tata cara centroid semesta kontinu [19].

2.3. Confusion Matrix

Confusion matrix yaitu tabel yang digunakan untuk menampilkan jumlah informasi uji yang telah diklasifikasikan dengan benar atau salah. Perhitungan dengan *confusion matrix* pada penelitian ini digunakan untuk mendapatkan nilai akurasi. Akurasi digunakan untuk mengetahui seberapa akurat sebuah model dalam klasifikasi benar [20].

3. METODE

Penelitian ini membangun sistem klasifikasi kualitas telur dengan menerapkan metode *fuzzy mamdani*. Serangkaian proses yang dilakukan meliputi berbagai step yang disajikan dalam diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

Pada step ini, dilakukan studi literatur untuk mengumpulkan berbagai teori pendukung dalam menunjang penelitian. Selanjutnya mengumpulkan berbagai data informasi guna membangun sistem dengan observasi serta wawancara secara langsung di Peternakan Bebek & Itik Emas, Kota Pontianak berupa uji coba sampel dari bobot dan cahaya terhadap kualitas telur bebek yang baik dan buruk. Step selanjutnya yaitu menganalisis kebutuhan dalam menentukan keperluan sistem pada perangkat keras dan perangkat lunak, kemudian dilakukan step pembuatan perancangan. Selanjutnya step implementasi perancangan yang telah dibuat sebelumnya menjadi keseluruhan sistem, kemudian masuk ke step pengujian apakah sistem sudah bekerja dengan efisien dan sinkron dari segi perangkat keras maupun lunak. Step terakhir yaitu menarik kesimpulan berdasarkan acuan hasil pengujian serta memberi saran untuk penelitian berikutnya dalam melakukan perbaikan.

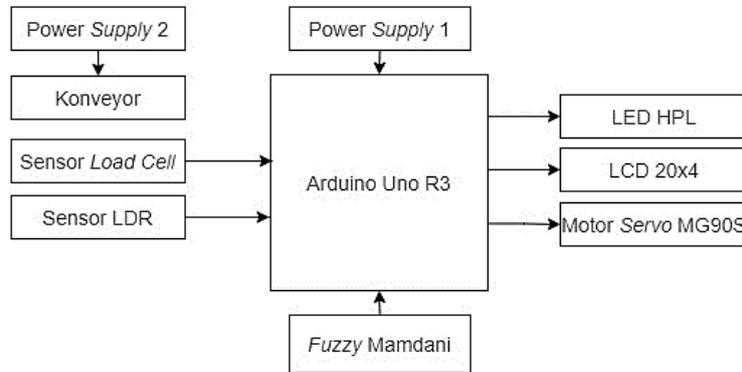
3.1. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini, proses perancangan sistem terdiri dari deskripsi sistem, perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

3.1.1. Deskripsi Sistem

Pada penelitian ini, sistem menggunakan dua power supply sebagai sumber arus listrik pada keseluruhan sistem pada Arduino Uno R3 dan penggerak konveyor. Masukan dari sistem ini terdiri dari sensor *load cell* dan sensor LDR untuk pembaca bobot dan intensitas

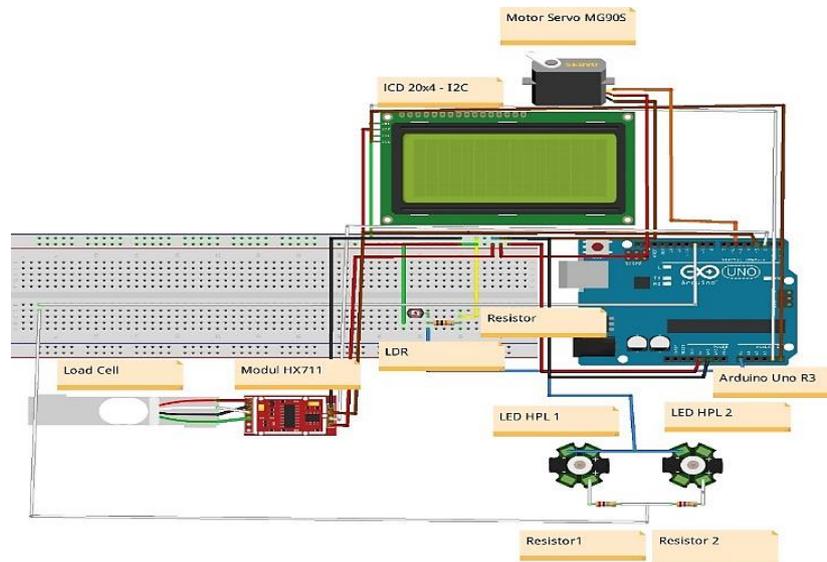
cahaya dari telur bebek. Untuk proses data diterapkan metode *fuzzy mamdani*. Pada metode ini, digunakan dua variabel masukan diantaranya bobot dan cahaya serta satu variabel keluaran yaitu kualitas. Sementara untuk keluaran sistem yaitu pemancar cahaya pada telur dengan LED HPL, klasifikasi motor servo, dan tampilan pada LCD. Gambar 2 menunjukkan diagram blok.



Gambar 2. Diagram Blok

3.1.2. Perancangan Perangkat Keras

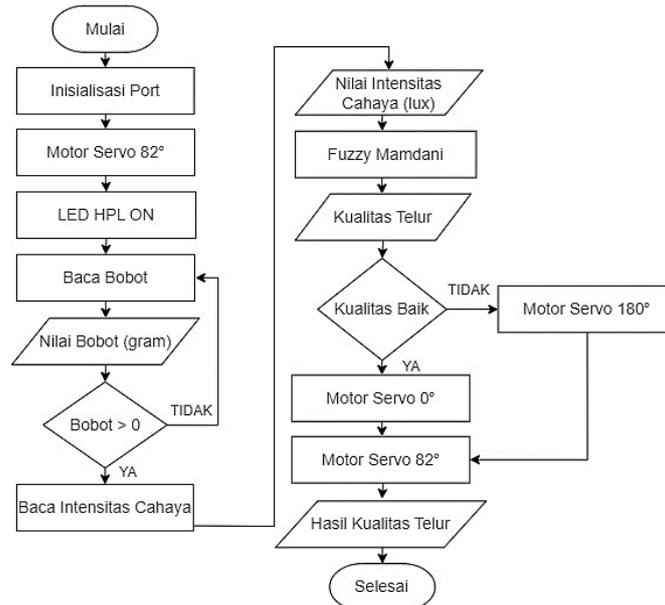
Perancangan perangkat keras bertujuan untuk membangun sistem yang mengacu pada diagram blok perancangan sistem. Perancangan terdiri dari penggabungan sensor *load cell*, sensor LDR, LED HPL, motor *servo* MG90S, dan LCD 20x4 menjadi satu sehingga menjadi sebuah rangkaian alat sesuai pada penelitian ini. Gambar 3 menunjukkan perancangan perangkat keras.



Gambar 3. Perancangan Sistem Perangkat Keras

3.1.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan algoritma pemrograman pada Arduino Uno R3 bertujuan untuk menjalankan setiap komponen perangkat keras yang saling terhubung. Gambar 5 menunjukkan *flowchart*.



Gambar 4. Flowchart

Berdasarkan Gambar 5, kerja sistem pada Arduino Uno R3 dimulai dari inisialisasi *port* dilanjutkan proses motor servo memutar 82°, selanjutnya LED HPL menyala, kemudian proses baca bobot dan diperoleh keluaran berupa nilai bobot dengan satuan gram. Ketika bobot telur terbaca lebih dari 0 gram maka dilanjutkan ke proses baca intensitas cahaya. Selanjutnya diperoleh keluaran berupa nilai intensitas cahaya dengan satuan *lux*. Data nilai dari sensor bobot dan intensitas cahaya digunakan sebagai masukan pada metode *fuzzy mamdani* untuk menentukan kualitas telur bebek. Jika kualitas telur yang didapatkan berkualitas baik maka dilanjutkan proses motor *servo* memutar 0°, kemudian memutar lagi ke posisi 82° dan menampilkan informasi mengenai kualitas telur kemudian selesai. Jika kondisi pertama tidak terpenuhi, maka akan dialihkan ke kondisi kedua yaitu kualitas telur yang didapatkan berkualitas buruk, dilanjutkan proses motor *servo* memutar 180°, kemudian memutar lagi ke posisi 82° dan mengenai informasi kualitas telur akan ditampilkan kemudian selesai.

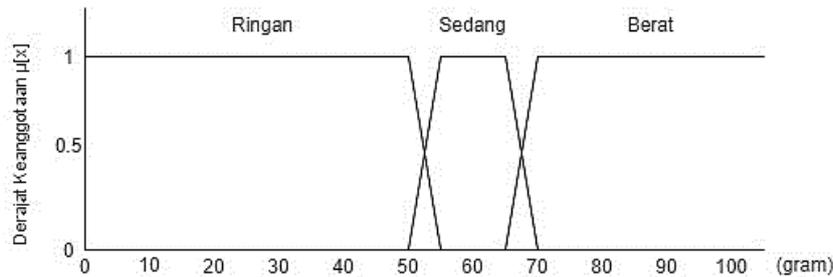
Tahap menentukan kualitas telur bebek, terdiri dari 4 step yaitu pembuatan fuzzifikasi, selanjutnya diaplikasikan fungsi implikasi, kemudian komposisi aturan serta terakhir defuzzifikasi. Step fuzzifikasi, dilakukan sebagai pembentukan himpunan *fuzzy* pada sistem dengan menggunakan tiga variabel *fuzzy*, yaitu dua variabel masukan terdiri dari bobot dengan himpunan ringan, sedang dan berat, selanjutnya cahaya dengan himpunan redup, sedang dan terang serta satu variabel keluaran yaitu kualitas dengan himpunan baik dan buruk. Untuk semesta pembicaraan merupakan nilai keseluruhan yang diperbolehkan dalam sebuah variabel. Selanjutnya pada *domain* merupakan nilai keseluruhan yang diperbolehkan terhadap semesta pembicaraan. *Range* pada *domain* sendiri, memiliki kelipatan yang bervariasi tergantung pada karakteristik telur, dimana pada penelitian ini telah ditentukan berdasarkan pengujian sensor *load cell* dan LDR terhadap bobot serta cahaya pada telur bebek. Tabel 1 menunjukkan himpunan *fuzzy*. Tabel 1 menunjukkan himpunan fuzzy.

Tabel 1. Himpunan Fuzzy

Variabel	Himpunan	Semesta Pembicaraan	Domain
Bobot (gram)	Ringan	0 - 100	0 – 55
	Sedang		50 – 70

	Berat		65 - 100
Cahaya (lux)	Redup		0 - 20
	Sedang	0 - 100	15 - 30
	Terang		25 - 100
Kualitas (persen)	Baik	0 - 100	0 - 75
	Buruk		25 - 100

Kurva bobot terdiri dari himpunan ringan, sedang dan berat dengan menggunakan kurva linear dan trapesium. Satuan pada kurva ini adalah gram. Gambar 5 menunjukkan kurva bobot.



Gambar 5. Kurva Bobot

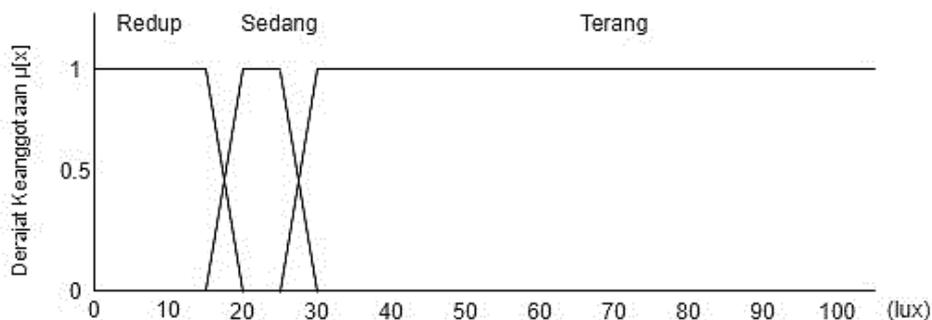
Persamaan 1, 2 dan 3 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk bobot.

$$\mu_{RINGAN}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \geq 55 \\ \frac{55-x}{55-50} & ; \quad 50 < x < 55 \\ 1 & ; \quad x \leq 50 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{SEDANG}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 50 \text{ atau } x \geq 70 \\ \frac{x-50}{55-50} & ; \quad 50 < x < 55 \\ 1 & ; \quad 55 \leq x \leq 65 \\ \frac{70-x}{70-65} & ; \quad 65 < x < 70 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{BERAT}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 65 \\ \frac{x-65}{70-65} & ; \quad 65 < x < 70 \\ 1 & ; \quad x \geq 70 \end{cases} \quad (3)$$

Dimana x merupakan nilai masukkan bobot dari sensor *load cell* yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*. Selanjutnya kurva cahaya terdiri dari himpunan redup, sedang dan terang terhadap kurva linear dan trapesium dengan satuan *lux*. Gambar 6 menunjukkan kurva cahaya.



Gambar 6. Kurva Cahaya

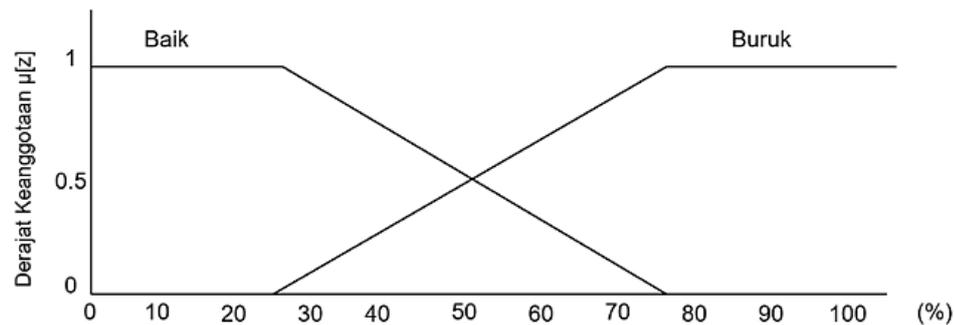
Persamaan 4, 5 dan 6 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk cahaya.

$$\mu_{\text{REDUP}}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \geq 20 \\ \frac{20-x}{20-15} & ; \quad 15 < x < 20 \\ 1 & ; \quad x \leq 15 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{SEDANG}}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 15 \text{ atau } x \geq 30 \\ \frac{x-15}{20-15} & ; \quad 15 < x < 20 \\ 1 & ; \quad 20 \leq x \leq 25 \\ \frac{30-x}{30-25} & ; \quad 25 < x < 30 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{TERANG}}[x] = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq 25 \\ \frac{x-25}{30-25} & ; \quad 25 < x < 30 \\ 1 & ; \quad x \geq 30 \end{cases} \quad (6)$$

Dimana x merupakan nilai masukkan intensitas cahaya dari sensor LDR yang akan diubah ke dalam bilangan *fuzzy*. Untuk kurva kualitas terdiri dari himpunan baik dan buruk yang menggunakan kurva linear dengan satuan persen (%). Gambar 7 menunjukkan kurva kualitas.



Gambar 7. Kurva Kualitas

Persamaan 7 dan 8 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk kualitas.

$$\mu_{\text{BAIK}}[z] = \begin{cases} 0 & ; \quad z \geq 75 \\ \frac{75-z}{75-25} & ; \quad 25 < z < 75 \\ 1 & ; \quad z \leq 25 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{BURUK}}[z] = \begin{cases} 0 & ; \quad z \leq 25 \\ \frac{z-25}{75-25} & ; \quad 25 < z < 75 \\ 1 & ; \quad z \geq 75 \end{cases} \quad (8)$$

Dimana z merupakan nilai keluaran *fuzzy* yang akan diubah menjadi nilai nyata berdasarkan fungsi keanggotaan. Step aplikasi fungsi implikasi yaitu pembuatan aturan. Berdasarkan kombinasi dari fungsi keanggotaan bobot dan cahaya pada sistem klasifikasi kualitas telur bebek, maka terbentuk 9 aturan. Tabel 2 menunjukkan aturan logika *fuzzy*.

No	Masukkan Bobot	Keluaran Cahaya	Keluaran Kualitas
----	----------------	-----------------	-------------------

1.	Ringan	Redup	Buruk
2.	Ringan	Sedang	Buruk
3.	Ringan	Terang	Baik
4.	Sedang	Redup	Buruk
5.	Sedang	Sedang	Baik
6.	Sedang	Terang	Baik
7.	Berat	Redup	Buruk
8.	Berat	Sedang	Baik
9.	Berat	Terang	Baik

Untuk mendapatkan nilai α – predikat, digunakan fungsi implikasi minimal (*MIN*) dari setiap aturan. Selanjutnya step komposisi aturan dengan menyimpulkan nilai yang paling maksimal (*MAX*) berdasarkan nilai fungsi implikasi yang diperoleh dari antar aturan. Perubahan nilai keluaran *fuzzy* menjadi nilai nyata kembali berdasarkan fungsi keanggotaan dilakukan pada step defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi menggunakan *centroid* dengan persamaan semesta kontinu untuk memperoleh titik pusat *fuzzy*. Persamaan 1 menunjukkan semesta kontinu.

$$Z^* = \frac{\int z\mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (1)$$

Keterangan:

Z^* = nilai prediksi (*centroid*)

$\int z\mu(z) dz$ = nilai momen

$\int \mu(z) dz$ = luas daerah

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Sistem

Klasifikasi kualitas telur mengimplementasikan konveyor, dan beberapa perancangan. Perancangan terdiri dari pembacaan bobot, pembacaan intensitas cahaya, sistem kendali LED HPL, sistem kendali motor *servo* MG90S, dan sistem kendali LCD 20x4. Gambar 8 menunjukkan alat klasifikasi telur.



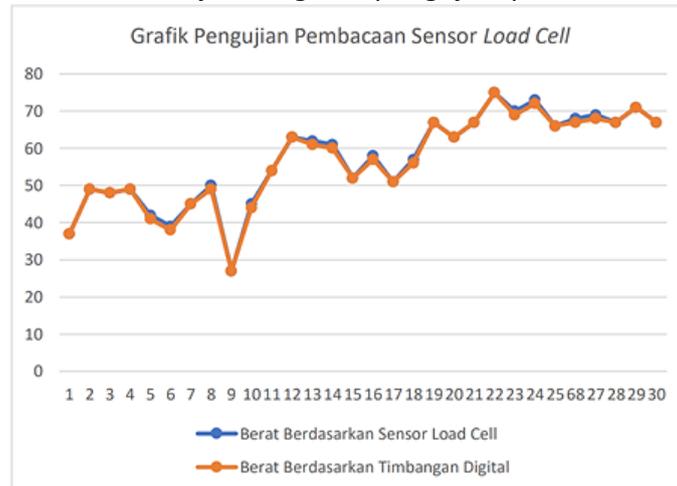
Gambar 8. Alat Klasifikasi Telur

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem yaitu sebuah proses untuk memastikan semua fungsi yang ada bekerja sesuai harapan. Tahap pengujian yang dilakukan yaitu pembacaan sensor *load cell*, pembacaan sensor LDR, Penerapan *fuzzy* mamdani dan *confusion matrix*.

4.2.1 Pembacaan Sensor Load Cell

Pembacaan sensor untuk mengetahui perbandingan pembacaan bobot pada pengukur timbangan digital dengan sistem klasifikasi kualitas telur bebek. Pengujian dilakukan sebanyak 30 data sampel telur dengan berbagai variasi bobot antara sensor *load cell* dan alat ukur timbangan digital. Gambar 9 menunjukkan grafik pengujian pembacaan sensor *load cell*.

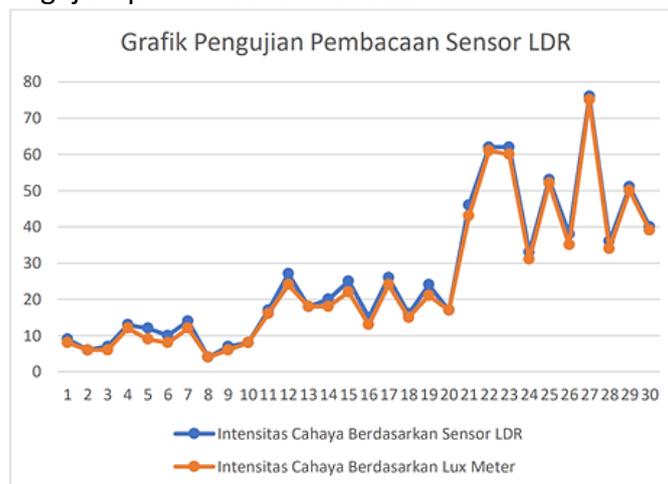


Gambar 9. Pengujian Pembacaan Sensor Load Cell

Hasil perbandingan dari pengujian antara sensor dan alat ukur dihitung menggunakan persamaan galat. Nilai galat relatif rata rata yang didapatkan sebesar 0.73%. Kesalahan pengukuran terjadi karena adanya pengaruh getaran terhadap sensor *load cell* pada saat jatuhnya telur terhadap sensor.

4.2.2 Pengujian Pembacaan Sensor LDR

Pembacaan sensor LDR dilakukan agar dapat mengetahui seberapa dekat estimasi pembacaan cahaya menembus telur dari pancaran sinar terhadap alat pengukur *lux* meter dengan sistem klasifikasi kualitas telur bebek. Pengujian dilakukan pada 30 data sampel telur dengan berbagai variasi cahaya antara sensor LDR dan alat ukur *lux* meter. Gambar 10 menunjukkan grafik pengujian pembacaan sensor LDR.



Gambar 10. Pengujian Pembacaan Sensor LDR

Hasil perbandingan dari pengujian antara sensor dan alat ukur dengan menggunakan persamaan galat didapatkan nilai galat relatif rata rata sebesar 8.95%. Hal ini dikarenakan

sensor LDR peka terhadap cahaya sehingga nilai yang dihasilkan dipengaruhi jika terdapat cahaya sekitar yang diterima dari pantulan telur bebek.

4.2.3 Penerapan fuzzy mamdani

Pengujian dengan menerapkan metode fuzzy mamdani bertujuan untuk mengetahui bahwa sistem telah bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan. Pengujian dilakukan pada 40 data sampel telur, proses di mulai dari telur ditaruh satu persatu di atas konveyor, kemudian dibaca nilai bobot dan cahaya. Parameter pada bobot terdiri dari himpunan ringan (0 – 55), sedang (50 – 70), dan berat (65 – 100). Parameter pada cahaya terdiri dari himpunan redup (0 – 20), sedang (15 – 30) dan terang (25 – 100). Sementara itu, parameter pada tingkat kualitas terdiri dari baik (0 – 75) dan buruk (25 – 100). Pada saat didapatkan tingkat kualitas telur, motor *servo* akan bergerak untuk mengarahkan telur sesuai wadahnya dan informasi mengenai telur tersebut akan ditampilkan pada layer LCD. Tabel 3 menunjukkan contoh data hasil pengujian

Tabel 3. Contoh Data Hasil Pengujian

Sampel	Bobot	Himpunan	Cahaya	Himpunan	rule	Fuzzy	Target	Sistem	Hasil
1	61	Sedang	19	Sedang	5	35.30	Baik	Baik	Sesuai
2	48	Ringan	25	Sedang	2	73.19	Buruk	Buruk	Sesuai
3	45	Ringan	22	Sedang	2	73.19	Buruk	Buruk	Sesuai
4	68	Berat	15	Redup	7	69.63	Buruk	Buruk	Sesuai
5	68	Berat	14	Redup	7	69.63	Baik	Buruk	Tidak Sesuai
6	56	Sedang	10	Redup	4	73.19	Buruk	Buruk	Sesuai
7	68	Berat	25	Sedang	8	30.37	Baik	Baik	Sesuai
8	45	Ringan	10	Redup	1	73.19	Buruk	Buruk	Sesuai
9	56	Sedang	17	Redup	4	55.03	Buruk	Buruk	Sesuai
10	54	Sedang	18	Sedang	5	44.97	Buruk	Baik	Tidak Sesuai

Dari 40 data sampel yang telah diuji dari perbandingan antara menurut perhitungan metode *fuzzy mamdani* dan pakar, terdapat 37 telur yang berhasil diklasifikasi sesuai kondisi sebenarnya dan 3 kondisi yang tidak sesuai dengan kualitas telur sebenarnya. Berdasarkan hasil pengujian ini, maka diketahui bahwa proses klasifikasi telur bebek yang tidak berhasil dilakukan, disebabkan oleh faktor cangkang telur bebek yang tebal dan telur bebek dengan indeks bentuk telur kecil dalam proses pendeteksiannya terdapat jarak antara posisi telur dan sensor LDR.

4.2.4 Pengujian Confusion Matrix

Pengujian *confusion matrix* merupakan tahapan dalam menguji akurasi terhadap hasil data pada pengujian menggunakan *fuzzy mamdani*. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian menggunakan *confusion matrix*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Menggunakan *Confusion Matrix*

		Prediksi	
		Baik	Buruk
Aktual	Baik	<i>True Positive</i> (TP) 18	<i>False Negative</i> (FN) 1
	Buruk	<i>False Positive</i> (FP) 2	<i>True Negative</i> (TN) 19

Berdasarkan data pada Tabel 4, diketahui terdapat 18 telur dengan prediksi berkualitas baik dan aktualnya baik, kemudian 1 telur yang diprediksi berkualitas buruk dan aktualnya buruk. Selanjutnya terdapat 2 telur dengan prediksi berkualitas buruk tetapi aktualnya baik serta 1 telur diprediksi berkualitas baik tetapi aktualnya buruk, sehingga didapat nilai tingkat akurasi sebesar 92.5%.

5. KESIMPULAN

Pada sistem klasifikasi kualitas telur bebek, digunakan Arduino Uno R3 untuk pembacaan nilai dari sensor *load cell* dan LDR dan mengendalikan LED HPL, motor servo serta LCD. Proses klasifikasi diperoleh menggunakan metode *fuzzy* Mamdani berdasarkan parameter dari kombinasi nilai bobot dan cahaya. Parameter masukkan data yang digunakan dalam penentuan kualitas adalah bobot dengan himpunan ringan (0 – 55), sedang (50 – 70) dan berat (65 – 100) serta cahaya terdiri dari himpunan redup (0 – 20), sedang (15 – 30) dan terang (25 – 100). Setelah memasukkan nilai dari setiap parameter terhadap masukkan data pengujian, maka dihasilkan keluaran sistem berupa tingkat kualitas telur bebek. Telur berkualitas baik (0 – 50) didapatkan pada saat nilai fungsi keanggotaan masuk ke aturan bobot ringan dan cahaya terang atau ketika bobot sedang hingga berat dan cahaya sedang hingga terang. Sedangkan telur kualitas buruk (diatas 50 – 100) diperoleh ketika nilai bobot ringan dan nilai cahaya yang dipantulkan sedang atau ketika nilai bobot sedang hingga berat dan cahaya yang dipantulkan redup. Berdasarkan hasil pengujian dalam klasifikasi kualitas telur bebek menggunakan metode *fuzzy* Mamdani, terdapat 37 data sampel uji yang sesuai kondisi sebenarnya dari 40 data sampel sehingga didapatkan nilai tingkat akurasi dengan *confusion matrix* sebesar 92.5%. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan variabel masukkan seperti sensor ultrasonik untuk mengukur indeks bentuk telur dan sensor gas untuk mendeteksi gas *hydrogen sulfide* (H₂S) yang dihasilkan oleh telur serta membangun *database* untuk menyimpan data klasifikasi kualitas telur bebek berbasis aplikasi.

REFERENSI

- [1] A. Wantoro, K. Muludi, and Sukisno, "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Kelayakan Kualitas Telur Bebek," *JUTIS*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [2] E. C. Theo, M. A. Anshori, and M. D. Atmadja, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Sortir Telur Konsumsi dengan Konveyor di Pabrik Telur Karangploso," *J. Jartel J. Jar. Telekomun.*, vol. 10, no. 4, pp. 162–167, 2020, doi: 10.33795/jartel.v10i4.91.
- [3] I. wayan R. Widarta, S. I. Made, and B. A. Harsojuwono, "Teknologi Telur," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [4] J. W. G. Putra, *Pengenalan Konsep Pembelajaran Mesin dan Deep Learning Edisi 1.4 (17 Agustus 2020)*, 1.4., vol. 4. Tokuo, Jepang: Putra, Jan Wira Gotama, 2020.

- [5] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy dengan MATLAB (Contoh Kasus Penelitian Penyakit Bayi dengan Fuzzy Tsukamoto)*. Bali: Jayapangus Press, 2018.
- [6] K. Handoko, A. A. Fajrin, and B. Kurniawan, "Penerapan Logika Fuzzy Mamdani Menentukan Kok Terbaik Bulutangkis," *J. Ilm. Inform.*, vol. 06, no. 02, pp. 35–42, 2018.
- [7] M. F. Fadil, Y. Mirza, and M. M. Amin, "Alat Pendeteksi Kondisi Baik dan Buruk Keadaan Telur Berbasis Mikrokontroler ATmega8535," vol. 12, no. 2, pp. 65–75, 2018.
- [8] I. F. Aristianto, M. Ramdhani, and P. D. Wibawa, "Rancang Bangun Sistem Sortir Telur Ayam," *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 3017–3024, 2020.
- [9] E. S. Utama and Poerbaningtyas, "Perancangan Alat Penyortir Telur Ayam Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Ldr (Light Dependent Resistor) Dan Sensor Berat (Load Cell)," *J-Intech*, vol. 10, no. 2, pp. 73–81, 2022.
- [10] D. Christover, A. Y. P. Panca, J. A. Purnomo, and M. M. Yusup, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebusukan Telur Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano 328," *J. SAINS Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2019.
- [11] J. Purdiyanto and S. Riyadi, "Pengaruh Lama Simpan Telur Itik Terhadap Penurunan Berat, Indeks Kuning Telur (IKT), dan Haugh Unit (HU)," *Maduranch*, vol. 3, no. 1, pp. 23–28, 2018.
- [12] E. Setiyono and R. P. Bekti, "Karakteristik Morfologi dan Perkembangan Testis Itik Alabio (*Anas platyrhynchos* Borneo) Periode Grower," *Life Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 170–180, 2019.
- [13] Kunaifi, M. Wirapartha, and I. K. A. Wijayana, "Pengaruh Penyimpanan Selama 14 Hari Pada Suhu Kamar Terhadap Kualitas Eksternal Dan Internal Telur Itik Di Daerah Jimbaran," *J. Trop. Anim. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 77–88, 2019.
- [14] D. Sasmoko, *Arduino dan Sensor pada Project Arduino DIY*. Semarang: Yayasan Prima AgusTeknik, 2021.
- [15] Laili, D. Triyanto, and S. Bahri, "Prototype Sistem Parkir Mobil Menggunakan Sensor Load Cell Dengan Arduino Mega 2560 Berbasis Android," *J. Komput. dan Apl.*, vol. 8, no. 1, pp. 163–174, 2020.
- [16] A. A. Firdaus, Periyadi, and A. Sularsa, "Sistem Sortir Telur Berbasis Arduino," *e-Proceeding Appl. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 165–177, 2021.
- [17] M. E. Bunardi and K. O. Bachri, "Perancangan dan Implementasi Wiper Otomatis pada Helm Berbasis Mikrokontroler," *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 08, no. 02, pp. 1–13, 2022.
- [18] P. Rahardjo, "Sistem Penyiraman Otomatis Menggunakan RTC (Real Time Clock) Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega 2560 Pada Tanaman Mangga Harum Manis Buleleng Bali," *SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, pp. 143–147, 2022.
- [19] A. J. Rindengan and Y. A. R. Langi, *Sistem Fuzzy*. Bandung: CV. PATRA MEDIA GRAFINDO, 2019.
- [20] A. F. Hidayatullah and A. Sn, "Analisis Sentimen Dan Klasifikasi Kategori Terhadap Tokoh Publik Pada Twitter," *Semin. Nas. Inform.*, vol. 2017, no. semnasIF, pp. 115–122, 2017.