

Sistem Monitoring Pakan Hewan Peliharaan Berbasis Internet of Things memanfaatkan Limbah Botol Plastik

Muhammad Febrian Rachmadhan Amri^{1*}, Komang Arya Widyanthara², I Nyoman Angga Prabawa³, Made Prastha Nugraha⁴

^{1,2,4}Sistem dan Teknologi Informasi, Institut Desain dan Bisnis Bali, Denpasar, Indonesia

³Teknik Komputer, Universitas Warmadewa, Denpasar, Indonesia

E-mail: ^{1*}febrian.rachmadhan@gmail.com, ²aryawidiant@gmail.com, ³anggaprabawa@warmadewa.ac.id, ⁴nmadeprastha@gmail.com

(* : corresponding author)

Abstrak

Kesulitan pemilik hewan dalam memberikan pakan secara konsisten saat beraktivitas di luar rumah menjadi latar belakang utama penelitian ini. Penelitian ini bertujuan merancang sistem *Smart Pet Feeder* (SPF) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menekankan pada fungsi *monitoring* ketersediaan pakan secara *real-time*, sekaligus memanfaatkan limbah botol plastik bekas minuman bersoda sebagai wadah pakan. Metode yang digunakan adalah rancang bangun sistem menggunakan Raspberry Pi 3 Model B sebagai prosesor utama, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi sisa pakan, dan motor servo MG995 sebagai penggerak mekanis. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan tiga *engine* utama yang berjalan otomatis untuk sinkronisasi data ke *database* MySQL. Pengujian dilakukan melalui *Black-box Testing* serta pengujian kuantitatif terhadap akurasi sensor dan konsistensi pakan. Hasil pengujian menunjukkan sistem lolos uji *Black-box* dengan tingkat keberhasilan fungsional 100% tanpa *error*. Sensor ultrasonik memiliki akurasi pembacaan sisa pakan sebesar 95,83% (rata-rata *error* 4,17%). Pakan yang dikeluarkan per siklus pemutaran servo stabil pada rata-rata 25 gram. Integrasi limbah botol plastik 1,5 Liter terbukti efektif, ekonomis, dan mendukung pengurangan limbah lingkungan. Kesimpulannya, sistem ini mampu membantu pemilik hewan memantau dan memberikan pakan secara akurat dari jarak jauh.

Kata kunci: *Black-box Testing, Daur Ulang, Internet of Things, Penjadwalan Otomatis, Raspberry Pi, Sampah Plastik, Smart Pet Feeder*

Abstract

The primary challenge motivating this research is pet owners' difficulty in consistently feeding pets while away from home. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based Smart Pet Feeder (SPF) that emphasizes real-time food level monitoring, utilizing repurposed plastic bottles as food containers. The system employs a Raspberry Pi 3 Model B, an HC-SR04 ultrasonic sensor to detect food levels, and an MG995 servo motor to dispense food. Developed in Python, three automated main engines synchronize data with a MySQL database. Validation involved Black-box testing and quantitative evaluations of sensor accuracy and feed output consistency. Results show the system passed Black-box testing with a 100% functional success rate. The ultrasonic sensor achieved 95.83% accuracy (4.17% average error). Food output averaged a consistent 25 grams per servo cycle. Using a 1.5-liter plastic bottle proved effective, economical, and eco-friendly. In conclusion, the system successfully enables accurate remote monitoring and feeding via the internet.

Keywords: *Black-box Testing, Internet of Things, Plastic Waste, Raspberry Pi, Recycling, Smart Pet Feeder, Smart Scheduler*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan infrastruktur internet telah mengubah pemanfaatan jaringan dari komunikasi antar manusia menjadi komunikasi antar mesin atau *Machine-to-Machine* (M2M), yang dikenal sebagai *Internet of Things* (IoT) [1]. Seiring kemajuan teknologi, penggunaan sensor untuk mengukur jarak telah menjadi hal yang umum dalam kehidupan sehari-hari. Beragam kebutuhan kini memanfaatkan sensor, sehingga sistem yang dibangun pun terus berkembang dan menunjukkan peningkatan kinerja [2]. Konsep IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 dengan visi bahwa objek fisik dapat terhubung ke internet melalui sensor dan RFID [3].

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah kebutuhan pemilik hewan peliharaan untuk memberikan pakan pada jam-jam tertentu [4]. Seringkali kesibukan atau keberadaan di luar rumah menghambat rutinitas ini. Solusinya adalah membangun *Smart Pet Feeder* (SPF) [5], sebuah perangkat cerdas yang memanfaatkan teknologi *time scheduling* dan kontrol jarak jauh melalui aplikasi internet. Melalui SPF, pemilik tidak hanya dapat mengatur jadwal makan, tetapi juga memantau sisa makanan dalam tabung penyimpanan.

Beberapa penelitian terdahulu telah menguji penerapan SPF berbasis IoT. Namun, penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan. Penelitian oleh Sugiritno dan Irawan mengembangkan sistem pemantauan dan pemberian pakan otomatis, namun biaya fabrikasi wadah pakan kustom relatif mahal dan belum dilengkapi mekanisme penghematan material [5]. Penelitian SPF lainnya oleh Wibowo dkk. berfokus pada pemantauan ternak, tetapi akurasi pengukuran sisa pakan berbasis persentase pada wadah kecil belum terukur secara presisi [4].

Berdasarkan keterbatasan pada penelitian terdahulu, terdapat *research gap* utama yaitu belum tersedianya sistem SPF berbasis Raspberry Pi yang mengintegrasikan fungsi monitoring sisa pakan berakurasi tinggi dengan pemanfaatan limbah wadah daur ulang ramah lingkungan yang teruji secara kuantitatif. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada dua aspek utama: (1) Integrasi limbah botol plastik bekas minuman bersoda 1,5 Liter yang dimodifikasi secara mekanis sebagai wadah pakan terbalik berbasis gravitasi yang sangat ekonomis dan reduksi sampah plastik; dan (2) Implementasi tiga *engine* Python otomatis berbasis *Crontab* pada Raspberry Pi 3 Model B yang teruji secara *Black-box* serta mampu menyajikan konversi persisi persentase stok pakan secara *real-time* di *dashboard* web.

Masalah limbah plastik saat ini menjadi persoalan global yang memerlukan penanganan segera melalui berbagai solusi alternatif. Kondisi ini dipicu oleh terus meningkatnya volume limbah plastik setiap tahunnya, yang sebagian besar bersumber dari sampah rumah tangga. Limbah plastik dikategorikan sebagai jenis sampah yang menimbulkan dampak signifikan terhadap kelestarian lingkungan [6], karena sifatnya yang sulit terurai secara alami (*non-biodegradable*), sehingga berpotensi besar menjadi polutan xenobiotik yang dapat mencemari ekosistem dalam jangka panjang [7]. Botol plastik minuman dipilih sebagai bahan dasar tabung penyimpanan pakan pada penelitian ini karena mudah ditemukan, berbiaya rendah, dan dapat mengurangi jumlah limbah yang berakhir di lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan rancang bangun (*Research and Development*) untuk menciptakan sistem pemberi makan hewan otomatis yang terintegrasi dengan jaringan internet [8]. Tahapan penelitian meliputi: (1) analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak, (2) perancangan arsitektur sistem berbasis *layer*, (3) implementasi algoritma dan antarmuka, serta (4) desain dan pelaksanaan pengujian fungsional sistem sebagaimana dijabarkan pada sub-bab 2.7.

2.1. Arsitektur Sistem *Internet of Things* (IoT)

Arsitektur *Smart Pet Feeder* (SPF) dibangun atas enam lapisan utama untuk memastikan keamanan data dan kelancaran komunikasi antar entitas. Lapisan tersebut meliputi:

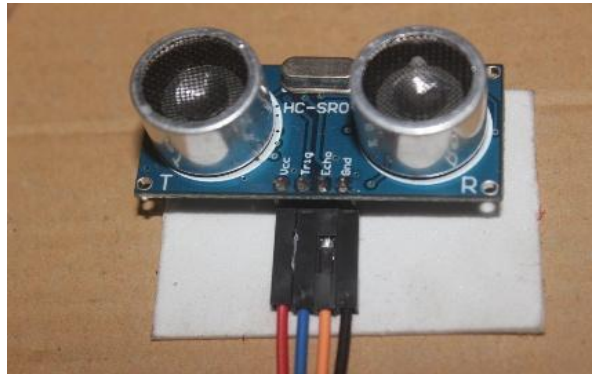
- Coding Layer*: Tahap dasar penulisan program menggunakan bahasa Python untuk mengontrol sensor dan aktuator.
- Perception Layer*: Terdiri dari sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mendeteksi sisa pakan dan motor servo MG995 sebagai penggerak mekanis.
- Network Layer*: Menggunakan media transmisi WiFi untuk menghubungkan Raspberry Pi dengan perangkat pengguna melalui protokol internet.
- Middleware Layer*: Proses pengolahan data secara otomatis di Raspberry Pi untuk dikirimkan ke database MySQL.
- Application Layer*: Antarmuka pengguna berbasis web yang menyediakan fitur kontrol jarak jauh dan penjadwalan.

- f. *Business Layer*: Pengelolaan aplikasi agar menjadi model sistem yang efektif bagi pemilik hewan peliharaan.

2.2. Pemilihan Perangkat Keras

a. Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik merupakan perangkat yang bekerja dengan prinsip pemantulan gelombang suara untuk mendeteksi keberadaan objek di depannya. Sensor ini beroperasi pada frekuensi di atas gelombang suara, yaitu sekitar 40 kHz hingga 400 kHz. Secara umum, sensor ultrasonik terdiri dari dua bagian utama: unit pemancar dan unit penerima [9].



Gambar 1. Sensor Ultrasonik

Kedua unit pada Gambar 1 memiliki struktur sederhana, di mana kristal piezoelektrik dihubungkan dengan mekanik jangkar dan terpasang pada diafragma penggetar. Ketika tegangan bolak-balik dengan frekuensi kerja 40-400 kHz diberikan pada plat logam, struktur atom kristal piezoelektrik akan berkontraksi, mengembang, atau menyusut sesuai polaritas tegangan. Fenomena ini dikenal sebagai efek piezoelektrik [10]. Perubahan bentuk kristal tersebut diteruskan ke diafragma sehingga menghasilkan gelombang ultrasonik yang dipancarkan ke udara [11].

Apabila terdapat objek di depan sensor, gelombang ultrasonik akan dipantulkan kembali dan diterima oleh unit penerima. Pantulan tersebut menyebabkan diafragma pada penerima bergetar, dan melalui efek piezoelektrik, getaran itu diubah menjadi tegangan bolak-balik dengan frekuensi yang sama seperti sinyal awal [12].

b. Raspberry Pi 3 Model B

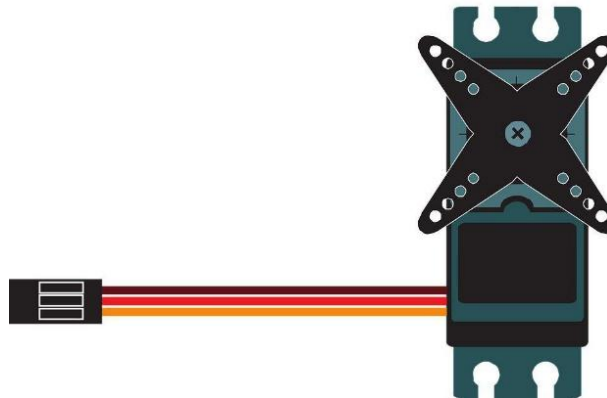


Gambar 2. Raspberry Pi 3 Model B

Raspberry Pi merupakan komputer mini seukuran kartu kredit yang dapat diprogram dan digunakan dengan mudah. Raspberry Pi sebagai otak sebuah perangkat berbasis sensor dan *device* dirasa lebih *powerful* dibandingkan menggunakan Arduino Uno [13]. Gambar 2 adalah versi Model B dari beberapa varian Raspberry Pi. Walaupun bentuknya kecil, perangkat ini memiliki kemampuan yang cukup kuat untuk menjalankan berbagai aplikasi secara bersamaan, mulai dari

perangkat lunak perkantoran hingga menjalankan aplikasi yang membutuhkan pemrosesan cukup besar [14].

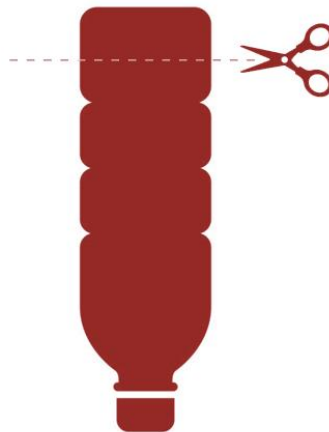
c. Motor Servo



Gambar 3. Motor Servo

Motor servo yang strukturnya terlihat pada Gambar 3 adalah aktuator utama yang digunakan untuk menghasilkan putaran sudut secara dinamis. Perangkat ini bekerja dengan sistem umpan balik *loop* tertutup, di mana posisi poros motor dikirim kembali ke rangkaian pengendali di dalam servo. Sinyal masukan untuk pengendali dapat berupa sinyal analog maupun digital. Umumnya, motor servo hanya bergerak dalam rentang sudut tertentu dan tidak berputar terus-menerus, namun dapat dimodifikasi agar mampu beroperasi secara berlanjut dan terus menerus [15], [16].

d. Wadah Pakan dari Botol Plastik



Gambar 4. Wadah Pakan dari Botol Plastik

Wadah pakan hewan dibuat menggunakan botol yang berasal dari limbah botol minuman berbahan plastik. Bagian bawah botol plastik dipotong sedemikian rupa dan dipasang dengan posisi terbalik dan dipotong pada bagian bawah botol untuk dijadikan jalan *refill* makanan seperti pada Gambar 4.

e. *Power Bank* sebagai Sumber Tenaga *Portable*



Gambar 5. Power Bank

Pada Gambar 5 menunjukkan penggunaan *Power Bank* yang bertujuan untuk menjadikan prototipe menjadi *portable* sehingga bisa dibawa kemana-mana.

2.3. Perancangan Rangkaian Perangkat Keras

Sistem ini menggunakan Raspberry Pi 3 Model B sebagai prosesor utama yang mengatur seluruh modul elektronik. Komponen dirangkai menggunakan kabel *jumper* dan *breadboard* dengan konfigurasi pin sebagai berikut:

- a. Sensor Ultrasonik: Pin Trigger dihubungkan ke GPIO 23 dan pin Echo ke GPIO 24 pada Raspberry Pi. Karena output sensor bernilai 5V sedangkan input GPIO hanya mampu menerima 3.3V, digunakan pembagi tegangan (*voltage divider*) dengan resistor 1k Ohm dan 2k Ohm. Sensor diletakan di balik penutup bagian atas seperti yang terlihat pada Gambar 6.
- b. Motor Servo: Kabel sinyal dihubungkan ke pin GPIO 21 menggunakan teknik *Pulse-Width Modulation* (PWM) dengan frekuensi 50Hz untuk mengatur rotasi secara presisi.
- c. Wadah Pakan: Memanfaatkan limbah botol plastik berukuran besar yang dimodifikasi dengan mekanisme baling-baling pada bagian bawahnya.



Gambar 6. Hasil Modifikasi Botol Plastik Sebagai Wadah

2.4. Perancangan Perangkat Lunak (*Engine Python*)

Implementasi perangkat lunak pada Raspberry Pi terdiri dari tiga mesin (*engine*) utama yang berjalan secara otomatis menggunakan crontab saat sistem dimulai, yaitu:

- EngineUltrasonic.py: Menghitung jarak permukaan pakan dalam tabung secara *real-time* setiap 3 detik.
- EngineServo.py: Melakukan pengecekan *flag* pada *database* secara berkala; jika *flag* bernilai 1, motor servo akan berputar 180 derajat untuk menjatuhkan pakan.
- EngineJadwal.py: Mencocokkan waktu saat ini dengan jadwal yang disimpan di database untuk memberikan perintah makan otomatis.

2.5. Algoritma Pengukuran Jarak dan Persentase Pakan

Penghitungan sisa makanan menggunakan prinsip pantulan gelombang suara dari sensor ultrasonik [17]. Jarak (S) dihitung dari selisih waktu (t) pemancaran dan penerimaan gelombang dengan kecepatan suara 343 m/s yang dihitung dengan rumus:

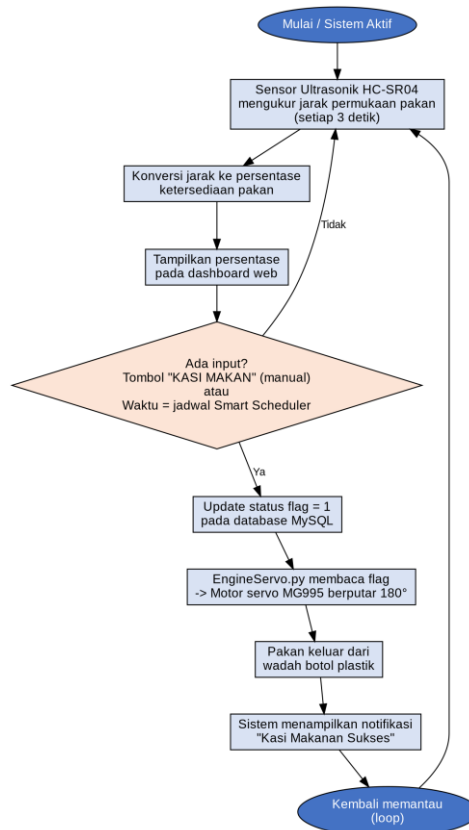
$$S = \frac{343 \times t}{2} \quad (1)$$

Data jarak tersebut kemudian dikonversi menjadi persentase ketersediaan pakan dalam aplikasi *web* dengan asumsi tinggi tabung maksimal adalah 30 cm menggunakan rumus:

$$\text{Persentase} = \frac{(20 - S)}{30} \times 100\% \quad (2)$$

2.6. Alur Kerja Sistem (*Flowchart*)

Pada Gambar 7 menggambarkan alur kerja sistem yang bekerja dengan mendeteksi ketersediaan makanan terlebih dahulu melalui sensor ultrasonik. Selanjutnya, sistem menunggu input dari dua jalur: tombol manual "KASI MAKAN" pada aplikasi web atau waktu yang telah ditetapkan melalui *Smart Scheduler*.



Gambar 7. Alur Kerja Sistem

Jika salah satu kondisi terpenuhi, database akan memperbarui status *flag*, yang kemudian memicu *engine* Python untuk menggerakkan motor servo guna menuangkan pakan.

2.7. Metode Pengujian Sistem

Pada Penelitian ini untuk memastikan keandalan sistem, dilakukan dua tahap pengujian utama yaitu sebagai berikut:

a. *Black-box Testing*

Pengujian fungsionalitas antarmuka perangkat lunak dan respons perangkat keras terhadap input pengguna, tombol manual, dan sistem penjadwalan.

b. Pengujian Kuantitatif dan Akurasi:

Pengujian akurasi sensor ultrasonik membandingkan hasil pembacaan jarak sensor HC-SR04 dengan pengukuran manual menggunakan penggaris sebanyak 5 kali pengujian pada berbagai tingkat ketinggian pakan. *Error* dihitung dengan rumus:

$$Error (\%) = (Jarak Aktual - Jarak Sensor / Jarak Aktual) \times 100\% \quad (3)$$

Pengujian output berat pakan — mengukur konsistensi berat pakan (dalam gram) yang dikeluarkan oleh putaran servo MG995 sebanyak 5 kali percobaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil implementasi rancang bangun perangkat keras dan lunak serta hasil pengujian fungsionalitas sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) secara kualitatif maupun kuantitatif.

3.1. Implementasi Perangkat Keras dan Wadah Limbah Botol

Implementasi fisik SPF berhasil mengintegrasikan Raspberry Pi 3 Model B sebagai kontroler utama dengan komponen pendukung lainnya.



Gambar 7. Tampilan alat dan posisi botol plastik

Salah satu aspek inovasi adalah penggunaan limbah botol plastik dengan posisi dibalik seperti yang terlihat pada Gambar 7. Botol bekas minuman bersoda dimodifikasi sebagai tabung penyimpanan pakan [7]. Botol tersebut dipotong bagian atas dan bawahnya, lalu diletakkan terbalik pada *casing* kayu untuk memudahkan aliran pakan secara gravitasi.



Gambar 8. Posisi servo untuk memutar baling-baling

Mekanisme pengeluaran pakan menggunakan motor servo MG995 yang menggerakkan baling-baling plastik sebagai penutup dan pembuka jalur makanan yang akan lewat di dalam tabung kecil seperti pada Gambar 8.



Gambar 9. Casing Kayu tempat menata Komponen

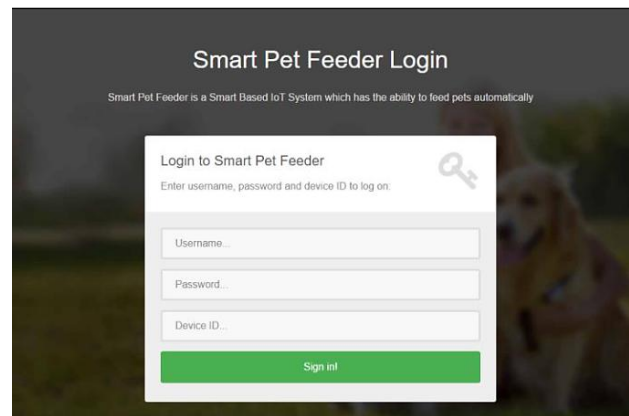
Casing kayu bagian belakang pada Gambar 9 merupakan tempat dimana komponen disimpan dan dikoneksikan satu dengan yang lainnya.

3.2. Implementasi Antarmuka Sistem Monitoring

Antarmuka pengguna dikembangkan berbasis web menggunakan PHP dan MySQL yang dapat diakses melalui peramban pada perangkat *smartphone* maupun komputer.

a. Halaman Login:

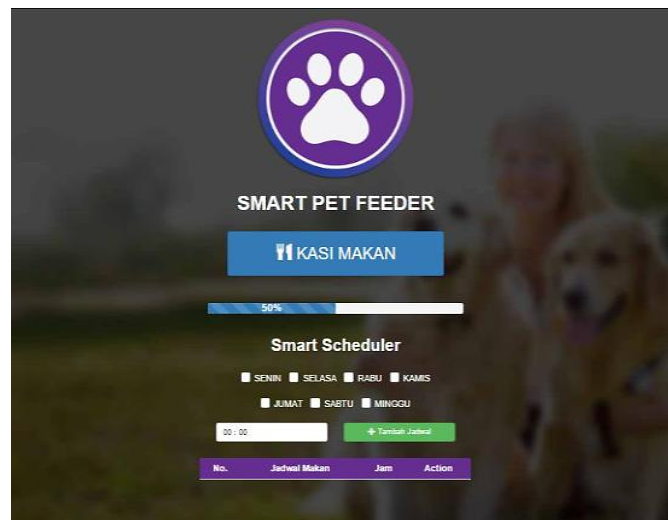
Pada halaman login Gambar 10 mengamankan akses sistem dengan verifikasi *username*, *password*, dan *Device ID* (nomor serial alat).



Gambar 10. Halaman *Login*

b. Dashboard Utama:

Pada halaman Dashboard Utama Gambar 11 menampilkan fitur utama berupa tombol "KASI MAKAN" untuk kontrol manual, *progress bar* indikator sisa pakan, dan tabel "Smart Scheduler".



Gambar 11. Halaman *Feed*

3.3. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem (Black-box Testing)

Pengujian *Black-box* dilakukan pada seluruh skenario fungsionalitas sistem. Hasil pengujian dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsionalitas dengan Black-box Testing

No	Fitur / Skenario Pengujian	Ekspektasi Hasil	Hasil Pengamatan	Status
1	Autentikasi Login User	User berhasil masuk jika data valid; menolak jika salah	Sistem memvalidasi login dengan tepat	Berhasil (100%)
2	Monitoring Sisa Pakan	Persentase di dashboard berubah sesuai fisik pakan	Progress bar terbaru secara real-time	Berhasil (100%)
3	Kontrol Manual (Kasi Makan)	Tombol ditekan, flag berubah 1, servo berputar	Servo berputar 180° dan pakan keluar	Berhasil (100%)
4	Smart Scheduler (Jadwal)	Saat jam tiba, EngineJadwal memicu servo otomatis	Pakan keluar tepat pada waktu yang dijadwalkan	Berhasil (100%)
5	Autostart Crontab Python	Engine otomatis berjalan saat reboot	Sistem berjalan otomatis tanpa input terminal	Berhasil (100%)

a. Pengujian Monitoring Sisa Pakan

Sistem monitoring pakan bekerja dengan memanfaatkan sensor ultrasonik HC-SR04 yang dipasang pada tutup tabung pakan. Berdasarkan hasil pengujian, *EngineUltrasonic.py* berhasil menghitung jarak permukaan pakan secara *real-time* setiap 3 detik. Data jarak tersebut dikonversi menjadi persentase ketersediaan pakan melalui algoritma pada program web. Jika pakan penuh, indikator menunjukkan angka mendekati 100%. Seiring berkurangnya pakan, persentase pada *progress bar* menurun secara akurat sesuai dengan kondisi fisik di dalam tabung botol plastik.

b. Pengujian Smart Scheduler (Penjadwalan Otomatis)

Pengujian dilakukan dengan memasukkan jadwal makan melalui fitur *Timepicker* pada aplikasi web. Data jadwal disimpan dalam tabel *tb_jadwal* di database MySQL. *EngineJadwal.py* terus mencocokkan waktu *real-time* server dengan jadwal pada database. Saat waktu yang ditentukan tiba, sistem memberikan perintah kepada *EngineServo.py* untuk memutar motor servo guna menjatuhkan pakan secara otomatis.



Gambar 12. Memasukkan data *Smart Scheduler*

Berdasarkan Tabel 1, seluruh fitur fungsional sistem berhasil lolos pengujian *Black-box* tanpa mengalami kegagalan (tingkat keberhasilan 100%).

c. Pengujian Remote Control (Kasi Makan Manual)

Pengguna dapat memberikan makan di luar jadwal dengan menekan tombol "KASI MAKAN" pada dashboard. Penekanan tombol memicu pembaruan status *flag* pakan pada database menjadi bernilai 1. Sistem merespons dengan memunculkan pesan alert "Kasi Makanan Sukses", dan motor servo berputar 180 derajat untuk mengeluarkan pakan dari tabung limbah botol.

3.4. Hasil Pengujian Kuantitatif Akurasi Sensor Ultrasonik

Pengujian pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 dilakukan untuk mengukur tingkat akurasi pemantauan stok pakan. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Pembacaan Sensor Ultrasonik HC-SR04

Percobaan	Pengukuran Manual (cm)	Pembacaan Sensor (cm)	Selisih Error (cm)	Persentase Error (%)	Akurasi Sensor (%)
1 (Pakan Penuh)	2.0	2.1	0.1	5.00%	95.00%
2 (Sisa 75%)	7.0	7.2	0.2	2.86%	97.14%
3 (Sisa 50%)	12.0	12.4	0.4	3.33%	96.67%
4 (Sisa 25%)	17.0	17.8	0.8	4.71%	95.29%
5 (Pakan Kosong)	22.0	23.1	1.1	5.00%	95.00%
Rata-rata			0.52	4.17%	95.83%

Hasil pengujian pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki rata-rata tingkat akurasi sebesar **95,83%** dengan rata-rata error pembacaan jarak sebesar **4,17%**. Deviasi kecil terjadi akibat variasi permukaan pakan kering yang tidak sepenuhnya rata.

3.5. Hasil Pengujian Konsistensi Pengeluaran Berat Pakan

Pengujian mekanisme pengeluaran pakan menggunakan motor servo MG995 dan baling-baling dilakukan untuk mengukur kepastian gramasi pakan yang jatuh per siklus. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Konsistensi Berat Pakan Keluar per Siklus

Pengujian ke-	Durasi Buka Servo (detik)	Berat Pakan Keluar (gram)	Keterangan Mekanis
1	2.0	25.2	Lancar tanpa penyumbatan
2	2.0	24.8	Lancar tanpa penyumbatan
3	2.0	25.5	Lancar tanpa penyumbatan
4	2.0	24.5	Lancar tanpa penyumbatan
5	2.0	25.0	Lancar tanpa penyumbatan
Rata-rata	2.0	25.0 gram	Sangat Konsisten

Tabel 3 menunjukkan bahwa durasi rotasi servo selama 2 detik secara konsisten mengeluarkan pakan kering rata-rata sebesar **25 gram** per porsi. Porsi ini sesuai dengan porsi standar sekali makan untuk hewan peliharaan ukuran kecil-menengah.

3.6. Analisis Ekonomi dan Keberlanjutan Lingkungan

Penggunaan botol plastik limbah minuman bersoda 1,5 Liter memberikan efisiensi biaya manufaktur hingga **85%** dibandingkan pembelian tabung akrilik/pabrikan khusus. Secara kuantitatif, pemanfaatan botol bekas ini langsung mereduksi 1-unit sampah plastik *non-biodegradable* per unit alat, membuktikan kontribusi nyata terhadap konsep ramah lingkungan.

3.7. Analisis Kinerja Sistem

Secara keseluruhan, integrasi antara Raspberry Pi, sensor, dan platform web menunjukkan performa yang stabil. Penggunaan konsep *autostart* melalui *crontab* memastikan ketiga *engine* Python (*EngineUltrasonic*, *EngineServo*, dan *EngineJadwal*) berjalan kembali secara otomatis saat perangkat dihidupkan (*reboot*). Pemanfaatan material botol plastik bekas terbukti efektif sebagai wadah pakan yang kedap dan murah selama pengujian tidak ditemukan kebocoran atau penyumbatan pada mekanisme baling-baling, sementara penggunaan Raspberry Pi memberikan fleksibilitas kontrol yang lebih tinggi dibandingkan mikrokontroler standar seperti ESP8266/ESP32 yang umum digunakan pada penelitian SPF sebelumnya [18], [19].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem *Smart Pet Feeder* berbasis IoT menggunakan Raspberry Pi 3 Model B dan wadah limbah botol plastik. Berdasarkan hasil evaluasi, dapat ditarik beberapa Kesimpulan yaitu Pengujian fungsionalitas menggunakan *Black-box Testing* menunjukkan bahwa seluruh fitur utama (login, monitoring, kontrol manual, dan *Smart Scheduler*) berfungsi 100% sesuai perancangan. Sensor ultrasonik HC-SR04 terbukti memiliki akurasi pembacaan sisa pakan sebesar 95,83% dengan rata-rata error pembacaan 4,17%. Mekanisme pengeluaran pakan berbasis motor servo MG995 mampu mengeluarkan pakan secara stabil dengan rata-rata berat 25 gram per siklus pemutaran. Pemanfaatan botol plastik bekas terbukti menjadi wadah pakan yang ekonomis (efisiensi biaya hingga 85%), fungsional, dan mendukung upaya daur ulang lingkungan.

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah mengintegrasikan modul kamera untuk verifikasi visual aktivitas hewan saat makan dan menambahkan fitur notifikasi pesan instan (Telegram/WhatsApp API) ketika stok pakan di dalam botol mencapai tingkat kritis (< 10%). Saran berikutnya menguji mekanisme servo terhadap variasi ukuran dan bentuk pakan hewan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Mphale, K. N. Gorenjena, and O. Nojila, "The Future of Things: A Comprehensive Overview of Internet of Things History, Definitions, Technologies, Architectures,

- Communication and beyond,” *Journal of Information Systems and Informatics*, vol. 6, no. 2, pp. 1263–1286, 2024, doi: 10.51519/JOURNALISI.V6I2.738.
- [2] B. Saragih and C. Bancin, “Perancangan Pengukur Jarak Secara Wireless Menggunakan Sensor Gelombang Ultrasonik berbasis Arduino Uno ATmega328 Dengan Tampilan di Laptop,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 74–80, 2021, Diakses: 28 Januari 2026. [Online]. Available at: <https://jurnal.universitasdarmaagung.ac.id/teknologienergi/article/view/956>
- [3] J. Chin, V. Callaghan, and S. B. Allouch, “The Internet-of-Things: Reflections on the past, present and future from a user-centered and smart environment perspective,” *J. Ambient Intell. Smart Environ.*, vol. 11, no. 1, pp. 45–69, 2019, doi: 10.3233/AIS-180506.
- [4] G. H. Wibowo, M. D. Ayatullah, and J. A. Prasetyo, “Sistem Cerdas Pemantau Hewan Ternak pada Alam Bebas Berbasis Internet of Things (IoT),” *Jurnal Eltektro*, vol. 17, no. 2, pp. 18, 2019, doi: 10.33795/ELTEK.V17I2.188.
- [5] H. Sugiritno dan D. Irawan, “Web Based Automatic Cage Fitness and Drinking Water Monitoring System for Goat Farming Sistem Monitoring,” *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 26, no. 2, pp. 148–157, 2024, doi: 10.24912/tesla.
- [6] M. Bariroh *dkk.*, “Pendampingan Pemanfaatan Botol Plastik Bekas sebagai Media Tanam Ramah Lingkungan,” *Welfare: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 3, 2025, doi: 10.30762/welfare.v3i3.2619.
- [7] I. Habibi *et al.*, “Pemanfaatan Limbah Gelas Plastik Sebagai Home Décor dalam Meningkatkan Kreativitas Masyarakat,” *Welfare: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 3, no. 2, pp. 224–229, 2025, doi: 10.30762/WELFARE.V3I2.2223.
- [8] S. Yadav, S. Luthra, and D. Garg, “Internet of things (IoT) based coordination system in Agri-food supply chain: development of an efficient framework using DEMATEL-ISM,” *Operations Management Research*, vol. 15, no. 1–2, pp. 1–27, 2022, doi: 10.1007/S12063-020-00164-X.
- [9] R. A. Putra, *et al.*, “Validasi Akurasi Pengukuran Terhadap Benda Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis NodeMCU 8266,” *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 3, 188–195, 2024, doi: 10.61132/mars.v2i3.187.
- [10] E. Sze, D. Hindarto, I. K. A. Wirayasa, and H. Haryono, “Performance Comparison of Ultrasonic Sensor Accuracy in Measuring Distance,” *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*, vol. 6, no. 4, pp. 2556–2562, 2022, doi: 10.33395/SINKRON.V7I4.11883.
- [11] R. A. Maulana and W. Windarto, “Rancang Bangun Pemilah Sampah Organik Dan Non Organik Berbasis Mobile Di Medang Lestari,” *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, vol. 7, no. 1, pp. 12–21, 2024, doi: 10.36080/Skanika.V7i1.3147.
- [12] S. Alam dan G. A. Maulana, “Rancang Bangun Sistem Pengereman Otomatis Menggunakan Arduino Uno dan Sensor Ultrasonik,” *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 6, no. 1, pp. 69, 2020, doi: 10.31884/JTT.V6I1.241.
- [13] P. Sethi and S. R. Sarangi, “Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications,” *Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2017, no. 1, pp. 1–25, 2017, doi: 10.1155/2017/9324035.
- [14] K. Dewi, A. V. Varadiba, and A. F. Michrun, “Rancang Bangun Modul Pembelajaran Berbasis Raspberry Pi,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, vol. 8, no. 1, 2022, pp. 78–86. [Online] Available at: <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/3661>
- [15] R. A. Hayubi, *et al.*, “Implementasi Sistem Penggerak Servo SG 90 Berbasis Arduino Uno dengan Kontrol Sudut Dinamis,” *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 6, pp. 130–140, 2024, doi: 10.61132/mars.v2i6.535.
- [16] R. Umbara, M. Raharja, A. Pudoli, and D. Kusumaningsih, “Prototype Smart Home Berbasis IoT Dengan NODEMCU ESP8266, Motor Servo dan Sensor Suhu DHT11 Berbasis Web,” *SKANIKA: Sistem Komputer dan Teknik Informatika*, vol. 5, no. 2, hlm. 265–274, 2022, doi: 10.36080/Skanika.V5i2.2952.

- [17] A. R. Priadi, R. A. Safitri, T. B. Pratama, and U. Latifa, "Comparison of Accuracy and Precision of Distance Readings on HC-SR04, JSN-SR04T, and A02YYUW Ultrasonic Sensors," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 27, no. 1, pp. 19-29, 2025, doi: 10.24912/tesla.v27i1.33372
- [18] W. Wahyudin *et al.*, "Rancang Bangun Smart Pet Feeder Berbasis IoT Menggunakan Blynk," *DBESTI: Journal of Digital Business and Technology Innovation*, vol. 3, no. 1, pp. 72–77, 2026, doi: 10.54914/Dbesti.V3i1.2204.
- [19] H. Ngarianto and A. A. S. Gunawan, "Pengembangan Automatic Pet Feeder Menggunakan Platform Blynk Berbasis Mikrokontroler ESP8266," *Jurnal Emacs (Engineering, Mathematics and Computer Science)*, vol. 2, no. 1, pp. 35–40, 2020.