


Rancang Bangun Sistem Inkubasi Makanan berbasis IoT dengan Identifikasi Objek Kamera dan Kendali Suhu Otomatis Menggunakan PID

Mohammad Dwiki Aji Nugroho¹, Heru Supriyono²

^{1,2}Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57102, Indonesia

 Email korespondensi: mohwikiaji@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem inkubasi makanan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan fitur *auto setting* berdasarkan klasifikasi objek visual. Sistem ini dikembangkan agar mampu mengenali jenis makanan menggunakan kamera OV5647 dan Raspberry Pi 4, kemudian menentukan parameter suhu dan durasi inkubasi secara otomatis. Pengendalian suhu dilakukan menggunakan metode kendali PID melalui mikrokontroler ESP32, dengan pengaturan daya pemanas oleh modul AC Light Dimmer Robotdyn. Pemantauan dan pengendalian sistem dapat dilakukan secara *real-time* melalui Telegram Bot, yang menampilkan informasi suhu, status proses, dan memungkinkan pengaturan jarak jauh. Pengujian dilakukan melalui serangkaian tahapan, seperti pengujian akurasi sensor suhu GY-906-DCI dibandingkan termometer referensi, validasi langsung secara visual terhadap hasil klasifikasi objek oleh kamera dan Raspberry Pi, pengujian stabilitas pengendalian suhu otomatis berbasis PID dengan mengamati grafik perubahan suhu, serta pengujian waktu respons aktuator dan antarmuka Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan objek makanan dengan rata-rata *accuracy score* 0,869 dan *response time* 9,05 detik. Sensor suhu GY-906-DCI menunjukkan rata-rata *error* sebesar 2,28% terhadap referensi termometer, sedangkan kontrol suhu otomatis mampu menjaga kestabilan suhu dengan *error* rata-rata 2,74%. Selain itu, aktuator seperti kipas, solenoid, LED, dan DFPlayer Mini merespons perintah dengan baik, dan antarmuka Telegram memberikan waktu respons rata-rata 1,80 detik. Sistem ini dinilai efektif untuk proses inkubasi makanan otomatis berbasis IoT, dengan



keunggulan pada kemampuan klasifikasi makanan, kestabilan suhu, dan kemudahan kontrol jarak jauh yang responsif.

Kata kunci: Internet of Things; Inkubasi Makanan; Identifikasi Objek; Kendali PID ESP32; Raspberry Pi

PENDAHULUAN

Proses inkubasi merupakan tahap pemeliharaan suatu objek atau bahan dalam kondisi lingkungan yang terkontrol, dengan tujuan mendukung perkembangan dan pencapaian hasil yang optimal. Inkubasi berlangsung dalam rentang waktu tertentu yang disebut masa inkubasi (Yohandoko, 2020). Sebagai contoh, dadih yang dibuat dari susu sapi menunjukkan peningkatan nilai pH serta penurunan tingkat sineresis setelah menjalani inkubasi selama 48 jam, meskipun tidak terdapat perbedaan signifikan pada total kadar asam (Purnomo et al., 2023). Selain durasi, suhu inkubasi turut berperan penting terhadap aktivitas mikroorganisme, termasuk bakteri asam laktat yang terlibat dalam proses fermentasi. Penelitian terhadap bakasang ikan cakalang menunjukkan bahwa suhu inkubasi memengaruhi laju pertumbuhan bakteri dan kadar histamin, di mana suhu inkubasi yang sesuai mampu menekan pembentukan senyawa merugikan serta menjaga kestabilan mikrobiologis dan kimiawi produk fermentasi (Amalia et al., 2023). Meskipun demikian, proses inkubasi pada praktiknya masih sering dikendalikan secara manual dengan penyesuaian parameter berdasarkan pengalaman atau perkiraan. Pendekatan tersebut berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian perlakuan terhadap masing-masing jenis bahan pangan, yang pada akhirnya dapat memengaruhi mutu serta aspek keamanan produk (Ningsi et al., 2025). Lebih jauh, ketergantungan terhadap pengaturan manual juga meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan manusia (*human error*), yang dapat berdampak negatif terhadap efisiensi waktu dan hasil produksi.

Dengan kemajuan teknologi yang pesat, penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam proses inkubasi pada pengolahan pangan telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi serta mutu produksi. Teknologi ini memungkinkan pemantauan parameter-parameter penting seperti suhu, kelembaban, dan pH secara *real-time*, sehingga kondisi optimal dapat dipertahankan selama proses berlangsung (Putra et al., 2025). Sebagai contoh, dalam budidaya jamur tiram, sistem pemantauan berbasis IoT terbukti efektif membantu petani menjaga kestabilan suhu dan kelembaban dalam kumbung, yang sebelumnya sulit dicapai melalui metode konvensional. Penerapan teknologi ini memberikan dampak langsung terhadap peningkatan produktivitas serta kualitas hasil panen jamur tiram (Faika et al., 2024). Di sisi lain, studi mengenai fermentasi tempe menunjukkan bahwa pemanfaatan sistem IoT, seperti sensor DHT22 dan MQ135 yang terintegrasi dengan



platform Blynk, memungkinkan pemantauan suhu, kelembaban, dan konsentrasi amonia selama proses fermentasi. Pemantauan ini berkontribusi terhadap pengendalian lingkungan fermentasi yang lebih stabil dan konsisten, sehingga dapat menghasilkan produk tempe dengan kualitas tinggi secara lebih efisien (Herindra, 2024).

Perkembangan teknologi, khususnya di bidang *artificial intelligence* dan *computer vision*, telah mendorong munculnya berbagai metode untuk meningkatkan efisiensi serta akurasi dalam proses identifikasi objek secara real-time. Salah satu pendekatan yang banyak diadopsi adalah algoritma *You Only Look Once* (YOLO), yang dikenal memiliki keunggulan dalam hal kecepatan dan ketepatan deteksi objek, termasuk dalam aplikasi pada identifikasi makanan maupun penilaian kualitas bahan pangan. Algoritma ini telah berhasil diterapkan dalam klasifikasi tingkat kematangan buah pepaya berdasarkan citra visual, dengan akurasi mencapai 93% dan nilai precision sebesar 94% (Agustina & Sukron, 2022). Sementara itu, versi terbaru yaitu YOLOv8 menunjukkan performa deteksi yang sangat baik dalam membedakan kentang segar dan busuk secara real-time, dengan tingkat akurasi mencapai 100% pada tahap pengujian serta nilai mAP₅₀₋₉₅ sebesar 97,9% (Alfiano & Rahayu, 2024) Selain itu, penerapan YOLOv3 dalam pengenalan citra buah seperti apel, jeruk, dan pisang menghasilkan nilai mAP sebesar 91%, yang mengindikasikan efektivitas algoritma ini dalam mengidentifikasi objek dengan kemiripan visual yang tinggi (Saputra et al., 2023). Berdasarkan capaian tersebut, integrasi algoritma YOLO ke dalam sistem inkubasi makanan dipandang potensial untuk meningkatkan akurasi serta efisiensi proses, sekaligus menyederhanakan pengoperasian sistem oleh pengguna non-teknis. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi inovatif dalam mengembangkan otomasi proses inkubasi makanan yang modern, presisi, dan andal, khususnya pada skala kecil hingga menengah.

METODE

1. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sesuai kebutuhan sistem. Sistem inkubasi dirancang untuk mengidentifikasi jenis makanan menggunakan kamera, mengatur suhu dan waktu inkubasi, serta mengendalikannya secara otomatis. Pengguna dapat memantau dan mengontrol proses secara *real-time* melalui panel alat atau Telegram. Catu daya utama berupa *power supply* 12V DC diturunkan dengan konverter *step-down* untuk memenuhi kebutuhan komponen. NodeMCU ESP32 mengatur kontrol suhu, sedangkan Raspberry Pi Zero 4 memproses citra dari kamera OV5647 untuk klasifikasi makanan (Naturizal et al., 2024).



Sensor GY-906-DCI membaca suhu makanan secara non-kontak dan telah dikalibrasi dengan thermogun menggunakan metode regresi (Yaboisembut et al., 2021). PTC Air Heater dikendalikan oleh AC Light Dimmer Robotdyn menggunakan deteksi zero-crossing dan PWM untuk mengatur daya pemanas (Tambing et al., 2024). Kipas DC 12V membantu mendistribusikan udara panas secara merata. Solenoid door lock dikontrol melalui relay untuk keamanan. LCD 20x4 menampilkan suhu, waktu, dan status; buzzer sebagai alarm akhir proses; LED 12V untuk pencahayaan kamera; dan push button sebagai kontrol manual. Seluruh komponen dipasang dalam ruang inkubasi berbahan stainless steel berisolasi panas. Penempatan komponen disesuaikan dengan bentuk dan fungsi alat.

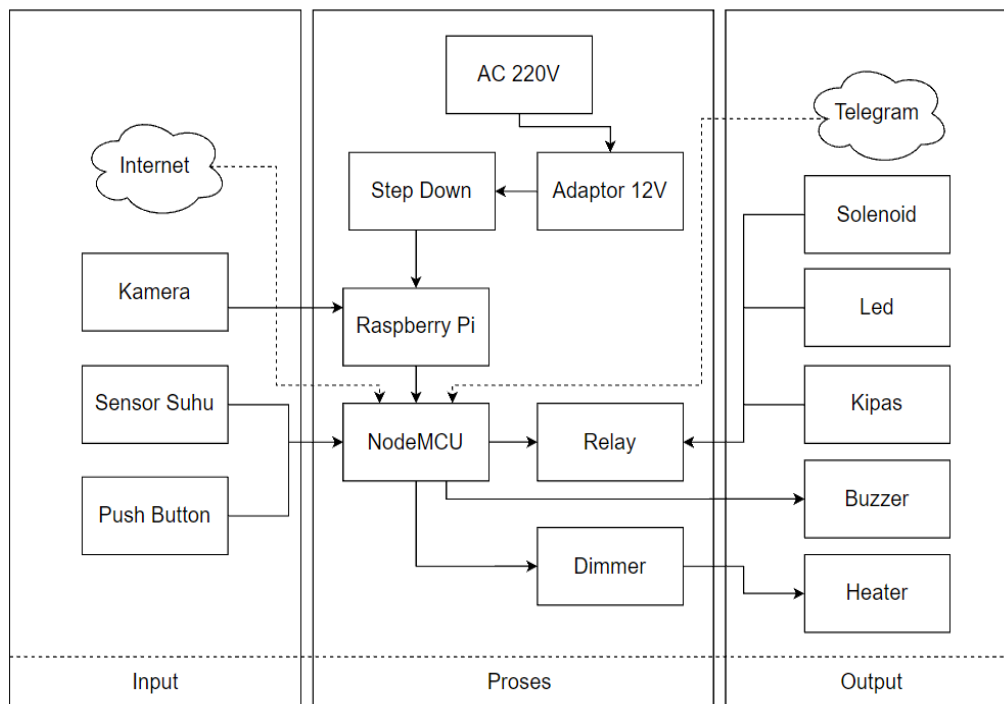
2. Perancangan Sistem

Perancangan sistem inkubasi makanan berbasis *Internet of Things* (IoT) terdiri dari tiga bagian utama: input, proses, dan output, yang saling terintegrasi untuk menghasilkan inkubasi otomatis dengan pengaturan suhu dan waktu berdasarkan klasifikasi objek visual. Pada bagian input, kamera OV5647 menangkap citra makanan dan mengirimkannya ke Raspberry Pi Zero 4 untuk klasifikasi menggunakan metode *vision-based object detection*. Sensor GY-906-DCI membaca suhu makanan secara *real-time*, sedangkan *push button* digunakan untuk kontrol manual seperti memulai atau menghentikan proses.

Hasil klasifikasi dikirim ke NodeMCU ESP32 melalui UART. Berdasarkan data tersebut, ESP32 menentukan suhu target dan lama inkubasi, serta mengendalikan PTC Air Heater melalui AC Light Dimmer, mengaktifkan kipas DC 12V, dan solenoid *door lock* untuk keamanan ruang inkubasi. Sistem menggunakan *power supply* 12V DC yang diturunkan ke 5V melalui modul *step-down*. ESP32 terhubung ke internet melalui MiFi, yang memungkinkan integrasi dengan Bot Telegram sebagai antarmuka jarak jauh.

Sistem juga dilengkapi buzzer sebagai alarm, LCD 20x4 untuk menampilkan suhu, waktu, dan status, serta notifikasi *real-time* melalui Telegram mencakup klasifikasi makanan, suhu, dan sisa waktu inkubasi. Notifikasi akan dikirimkan jika proses inkubasi telah selesai. Keseluruhan sistem dirancang untuk bekerja otomatis dan terintegrasi guna meningkatkan efisiensi, presisi, dan kemudahan penggunaan. Diagram blok alur kerja sistem ditampilkan pada Gambar 1.



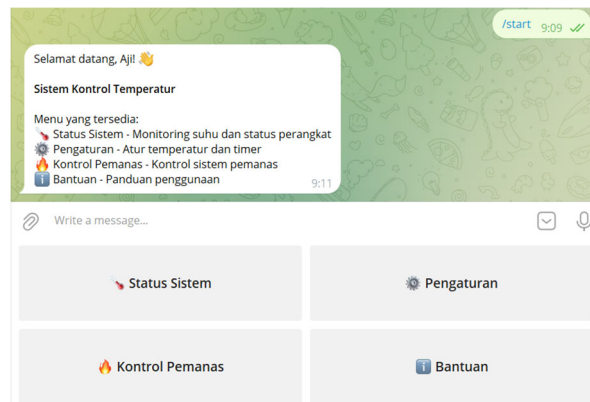


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

3. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada sistem inkubasi makanan berbasis *Internet of Things* (IoT) ini dirancang secara modular dan terstruktur guna menunjang pengendalian suhu otomatis berdasarkan klasifikasi jenis makanan. Arsitektur perangkat lunak terdiri atas dua komponen utama, yakni Raspberry Pi 4 sebagai unit pemroses visual dan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem inkubasi. Raspberry Pi 4 bertugas menjalankan deteksi objek makanan berbasis model pembelajaran mesin yang telah dilatih sebelumnya menggunakan algoritma *Teachable Machine*, sedangkan ESP32 mengatur pengendalian aktuator serta pemantauan suhu dan waktu inkubasi berdasarkan hasil klasifikasi yang diterima dari Raspberry Pi melalui komunikasi serial UART. *Flowchart System* inkubasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.





Gambar 3. Tampilan Antarmuka Bot Telegram

Pada sisi mikrokontroler ESP32, perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan pendekatan berorientasi objek. Program dibagi dalam beberapa kelas (class) sesuai fungsinya, sehingga lebih terstruktur dan modular. Contohnya, kelas DeviceControl digunakan untuk mengendalikan kipas, buzzer, dan solenoid; DisplayManager untuk mengelola tampilan menu pada LCD; TelegramHandler untuk komunikasi dengan Bot Telegram; dan TempController yang mengimplementasikan algoritma PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk mengatur suhu pemanasan secara dinamis berdasarkan suhu target. Keluaran dari algoritma PID dikonversi menjadi sinyal kontrol untuk modul AC Dimmer Robotdyn, yang mengatur daya pemanas melalui kontrol fase. Implementasi algoritma PID dalam kode ditunjukkan pada Gambar 4.

```

47 // Suku integral dinamis
48 if (abs(error) < TEMP_TOLERANCE * 2) {
49     integral += error * deltaTime;
50     integral = constrain(integral, -30, 30); // Batasi integral
51 } else {
52     integral = 0; // Reset integral saat jauh dari target
53 }
54 // Hitung turunan dengan pembatasan laju
55 float derivative = (error - lastError) / deltaTime;
56 derivative = constrain(derivative, -10, 10); // Batasi suku turunan
57 lastError = error;
58 // Hitung keluaran PID dengan suku berbobot
59 float output = (KP * error) + (KI * integral) + (KD * derivative);
60 // Tambahkan suku feed-forward untuk respons lebih cepat
61 if (error > 0) {
62     output += 20; // Daya dasar untuk mengatasi inersia termal
63 }
64 output = max(0.0f, output);
65 return output;
66 }

```

Gambar 4. Program Perhitungan *output* daya pemanas

Algoritma PID yang digunakan dalam sistem ini memiliki tiga komponen utama, yaitu suku proporsional (P), suku integral (I), dan suku derivatif (D). Masing-masing komponen berkontribusi terhadap kecepatan, akurasi, dan kestabilan respon sistem



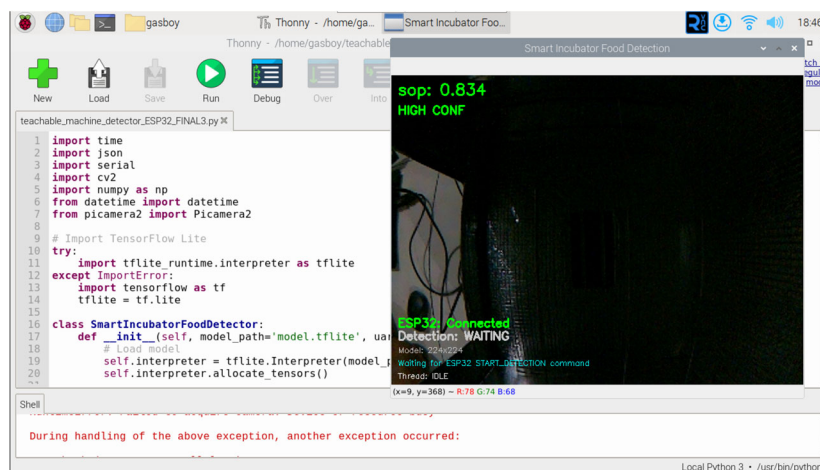
terhadap perubahan suhu. Secara matematis, model pengendalian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \int_0^t e(t) \Delta t + Kd \cdot \frac{\Delta e(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

Dengan :

- $u(t)$: output kendali (dalam bentuk daya pemanas, 0–100%)
- $e(t)$: error (selisih antara suhu target dengan suhu aktual)
- Kp : konstanta proporsional
- Ki : konstanta integral
- Kd : konstanta derivatif

Rumus ini secara dinamis menghitung besarnya daya yang harus diberikan ke pemanas berdasarkan perbedaan antara suhu target dan suhu aktual. Sebagai contoh, pada kondisi awal ketika suhu objek makanan masih 27 °C dan suhu target adalah 40 °C, nilai error sebesar 13 digunakan untuk menghitung *output* kendali. Dengan konstanta PID yang telah ditentukan yaitu $KP = 2,5$, $KI = 0,2$, dan $KD = 1,2$, sistem menghasilkan output daya sekitar 67,1% setelah ditambahkan suku *feed-forward* sebesar 20 untuk mempercepat respon awal. Perhitungan ini memungkinkan sistem merespon secara adaptif terhadap perubahan suhu secara bertahap dan stabil, serta meminimalkan kesalahan (*overshoot*) dalam proses pemanasan.



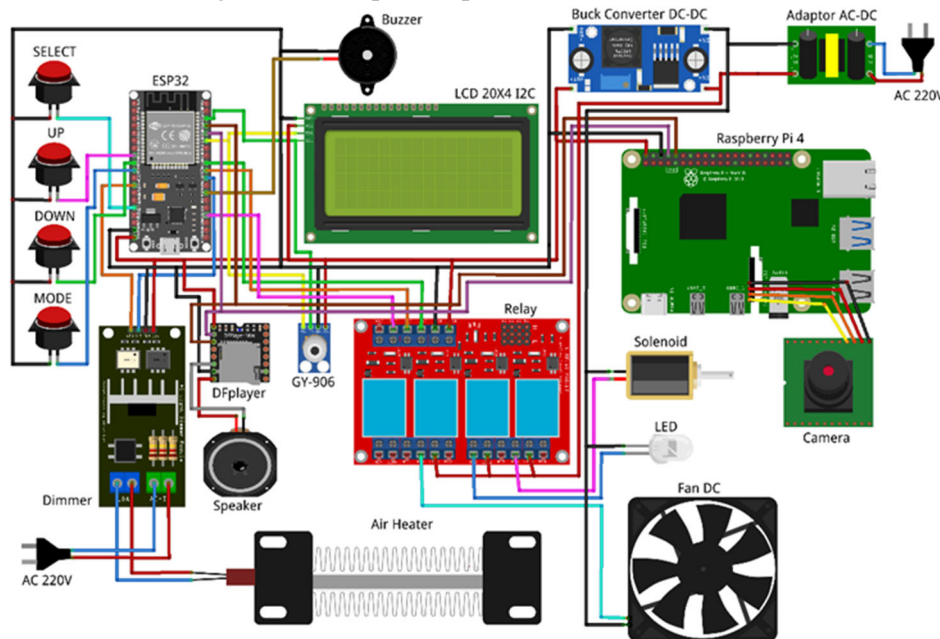
Gambar 5. Program Klasifikasi Objek Makanan



Implementasi Program Klasifikasi Objek Makanan ditunjukkan pada Gambar 5. Mode AUTO pada sistem ini memungkinkan pengaturan suhu dan waktu inkubasi dilakukan secara otomatis berdasarkan hasil klasifikasi jenis makanan oleh Raspberry Pi 4. Deteksi dilakukan secara real-time menggunakan kamera OV5647 dan pustaka OpenCV, kemudian diproses dengan model klasifikasi makanan berformat TensorFlow Lite (TFLite). Program Python pada Raspberry Pi mengirimkan hasil deteksi berupa nama makanan dan *confidence score* ke ESP32 melalui komunikasi serial UART dalam format JSON. Berdasarkan data ini, ESP32 menetapkan parameter suhu dan durasi inkubasi yang sesuai. Kolaborasi antara Raspberry Pi sebagai unit deteksi visual dan ESP32 sebagai pengendali aktuator membentuk sistem inkubasi yang efisien dan adaptif terhadap jenis makanan.

4. Perancangan Elektronika

Perancangan rangkaian elektronika untuk sistem inkubasi ini dibuat menggunakan perangkat lunak Fritzing dan ditampilkan pada Gambar 6.

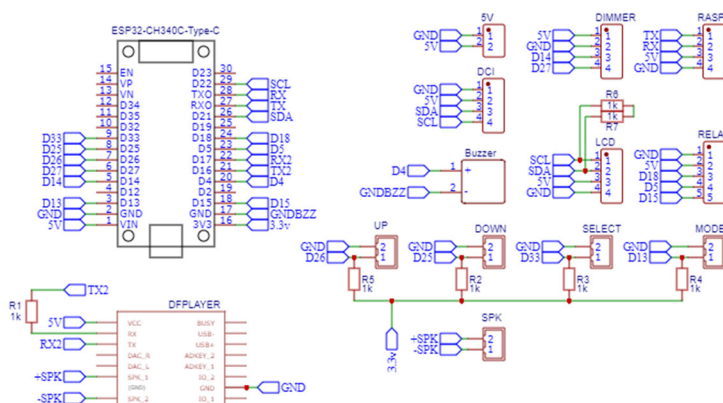


Gambar 6. *Wiring Diagram System*

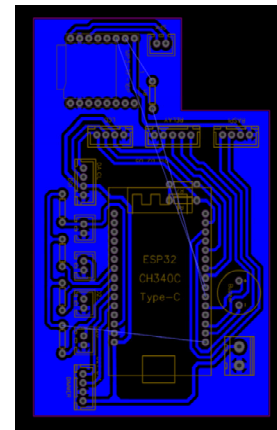
Rangkaian sistem menunjukkan integrasi antara ESP32 sebagai pengendali utama dan Raspberry Pi 4 sebagai pengolah citra. Empat tombol (SELECT, UP, DOWN, MODE) berfungsi sebagai kontrol manual, dengan LCD 20x4 I2C menampilkan status alat, dan buzzer sebagai penanda alarm. Sensor GY-906-DCI membaca suhu makanan tanpa kontak melalui komunikasi I2C ke ESP32. Pemanas PTC Air Heater dikendalikan oleh AC Light Dimmer, dengan intensitas diatur secara bertahap menggunakan sinyal PWM



berdasarkan nilai kontrol PID. Sirkulasi udara dibantu kipas DC 12V, dan LED berfungsi sebagai indikator visual—keduanya dikontrol melalui relay, termasuk solenoid door lock untuk penguncian otomatis. Notifikasi suara diberikan oleh DFPlayer Mini dan speaker. Kamera OV5647 menangkap gambar makanan yang diklasifikasikan oleh Raspberry Pi menggunakan model deteksi objek berbasis *deep learning*. Hasil klasifikasi dikirim ke ESP32 melalui UART, sebagai dasar pengaturan suhu dan waktu inkubasi. Sumber daya utama berasal dari adaptor AC-DC 12V, diturunkan menjadi 5V dengan buck converter untuk ESP32 dan Raspberry Pi, sementara tegangan 220V AC langsung digunakan oleh elemen pemanas melalui dimmer.



Gambar 7a. Schematic PCB

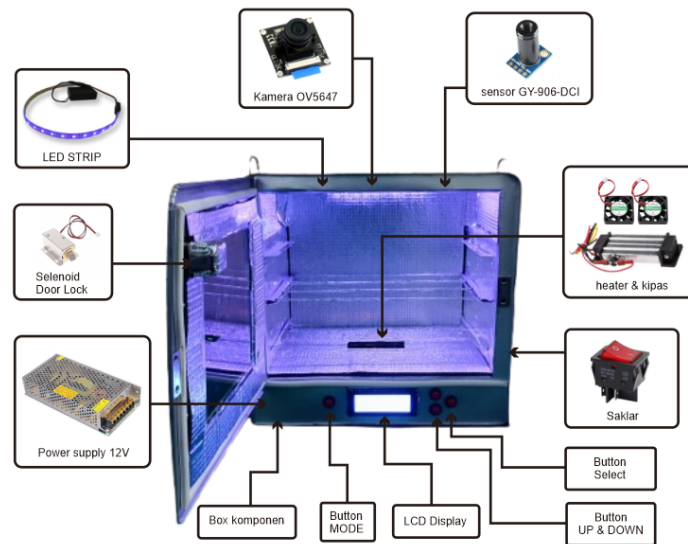


Gambar 7b. Board PCB

Gambar 7. Desain Layout Board PCB

Desain *Layout Board PCB* ditampilkan pada Gambar 7. Perancangan tata letak skema rangkaian elektronik dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak EasyEDA. Rangkaian schematic PCB dan layout board PCB yang ditampilkan pada Gambar 6a dan 6b dirancang untuk mengoptimalkan jalur koneksi antar komponen serta memastikan sambungan antar pin mikrokontroler ESP32 dan modul pendukung lainnya tersusun secara efisien dan akurat. Penataan jalur koneksi dan posisi pin disusun secara sistematis guna mendukung kelancaran alur logika dalam sistem yang dibangun.





Gambar 8. Tata letak *Hardware* pada inkubator

Tata letak komponen utama pada sistem inkubasi makanan otomatis dapat dilihat pada Gambar 8. Kamera OV5647 dan sensor GY-906-DCI dipasang di dalam ruang inkubasi untuk klasifikasi makanan dan pembacaan suhu. Proses pemanasan dibantu oleh heater dan kipas, dengan sistem penguncian otomatis menggunakan solenoid door lock. LCD, tombol kontrol, dan saklar ditempatkan di panel depan, sementara box komponen dan power supply 12V berada di bagian bawah alat untuk mendukung kinerja seluruh sistem.

5. Pengujian Sistem

Pengujian sistem bertujuan mengevaluasi akurasi dan keandalan komponen utama pada sistem inkubasi makanan berbasis IoT. Komponen yang diuji meliputi sensor suhu GY-906-DCI, kamera OV5647, Bot Telegram, push button, dan AC Light Dimmer. Sensor GY-906-DCI diuji dengan membandingkan pembacaannya terhadap termogun sebagai alat referensi; selisih antar nilai dihitung sebagai error untuk mengukur akurasi. Kamera OV5647 diuji dengan membandingkan hasil citra secara visual terhadap objek asli guna menilai ketepatan gambar. Pengujian Bot Telegram difokuskan pada validasi komunikasi dan respon sistem terhadap perintah seperti /start, /status, /input_setting, serta notifikasi otomatis yang dikirim secara real-time. AC Light Dimmer diuji dengan mengukur tegangan output menggunakan multimeter. Sementara itu, push button diuji dengan mencatat waktu antara penekanan tombol dan respon sistem. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan.



6. Pengujian *Error* Pada Sistem

Pengujian dilakukan dengan membandingkan masing-masing komponen dengan alat ukur referensi. Alat pembanding yang digunakan meliputi *termogun* untuk sensor suhu GY-906-DCI, pengamatan visual untuk kamera OV5647, panel kontrol alat untuk Bot Telegram, dan multimeter untuk AC *Light Dimmer*. Setiap komponen diuji secara individual dan hasilnya dibandingkan dengan pengukuran manual. Selisih nilai antara keluaran komponen dan alat ukur referensi dihitung sebagai nilai *error*, yang merepresentasikan deviasi hasil pengukuran terhadap standar yang ada.

6.1. Nilai Selisih

$$\text{Selisih} = A - R \quad (2)$$

Dengan :

- *A* : Nilai hasil pembacaan komponen
- *R* : Nilai referensi dari alat ukur pembanding

Kalkulasi nilai *error* dilakukan dengan menghitung nilai selisih antara nilai hasil pembacaan komponen dengan nilai referensi Nilai referensi dari alat ukur pembanding.

6.2. Persentase *Error*

$$\%Error = \left(\frac{\text{Selisih}}{R} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Dengan :

- Selisih : Nilai selisih antara nilai pembacaan komponen dengan nilai referensi
- *R* : Nilai referensi dari alat ukur pembanding

Persentase *error* dihitung sebagai indikator stabilitas dan konsistensi komponen dalam menghasilkan data yang mendekati nilai referensi atau nilai sebenarnya.

6.3. Rata-Rata *Error*

$$\text{Rata - rata Error} = \frac{\sum \%Error}{n} \quad (4)$$

Dengan :



- $\Sigma \%Error$: Total persentase error dari seluruh pengujian
- n : Jumlah pengujian yang dilakukan

Rata-rata *error* tiap sensor dimanfaatkan untuk mengevaluasi tingkat akurasi sistem secara keseluruhan. Semakin rendah nilai rata-rata *error*, maka semakin tinggi tingkat keandalannya.

HASIL

1. Hasil Perancangan

1.1. Tampilan Bentuk Alat

Sistem inkubasi ini menggunakan oven tangkring berukuran $29 \times 35,5 \times 34$ cm yang dimodifikasi untuk menampung komponen elektronik tanpa mengganggu fungsi pemanas. NodeMCU ESP32 beserta catu daya dan koneksi sensor ditempatkan di ruang bawah oven. Di bagian atas, dipasang sensor GY-906-DCI, Raspberry Pi 4, kamera OV5647, dan LED untuk mendeteksi suhu serta menangkap citra makanan. Solenoid door lock dipasang di pintu sebagai pengunci otomatis. Bagian luar oven dilengkapi LCD 20×4 untuk menampilkan status dan suhu, serta push button untuk kontrol manual. Pemanas dikendalikan melalui AC Light Dimmer Robotdyn, dan sirkulasi udara didukung kipas DC 12V. Sistem bekerja secara otomatis, terintegrasi, dan mendukung pemantauan jarak jauh melalui Bot Telegram. Tampilan fisik alat ditunjukkan pada Gambar 9a hingga 9f.



Gambar 9a. Tampak depan



Gambar 9b. Tampak belakang

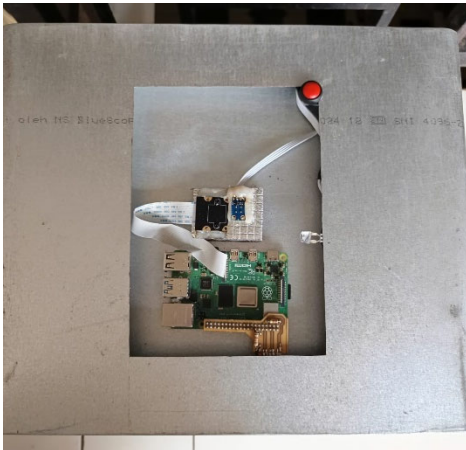




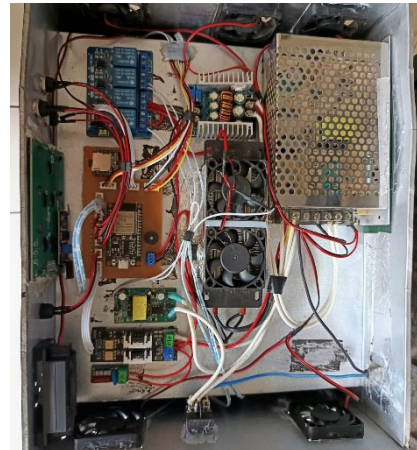
Gambar 9c. Tampak samping kanan



Gambar 9d. Tampak samping kiri



Gambar 9e. Tampak dalam rangkaian Raspberry Pi



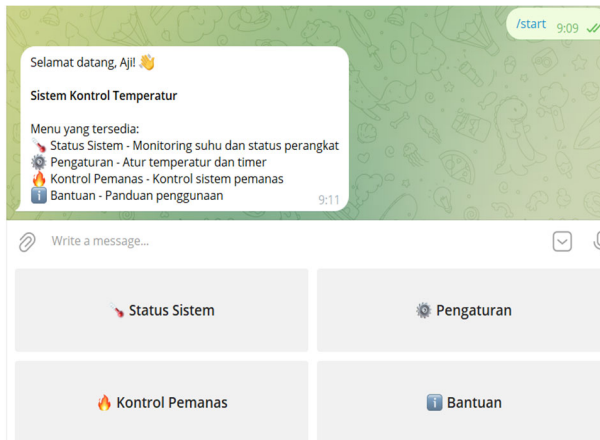
Gambar 9e. Tampak dalam rangkaian Raspberry Pi

Gambar 9. Tampilan Fisik Alat

1.2. Tampilan Antarmuka Bot Telegram

Pada sistem inkubasi makanan ini, konsep *Internet of Things* (IoT) diimplementasikan melalui platform Telegram Bot sebagai antarmuka utama antara pengguna dan alat. Telegram Bot digunakan untuk memantau suhu makanan, status proses inkubasi, serta mengontrol sistem dari jarak jauh. Melalui perintah seperti *start/stop*, *status*, dan *pengaturan*, pengguna dapat melihat informasi suhu aktual, waktu inkubasi yang tersisa, dan daya pemanas. Perintah juga memungkinkan pengguna mengatur parameter inkubasi secara manual melalui Telegram Bot yang ada di handphone pengguna tanpa harus hadir langsung di lokasi. Sistem akan mengirimkan notifikasi otomatis saat proses inkubasi selesai. Hal ini memudahkan pengguna dalam melakukan pemantauan dan kontrol secara *real-time* dari mana saja. Tampilan antarmuka Telegram Bot yang digunakan dapat dilihat pada gambar 8a sampai 8e berikut ini.

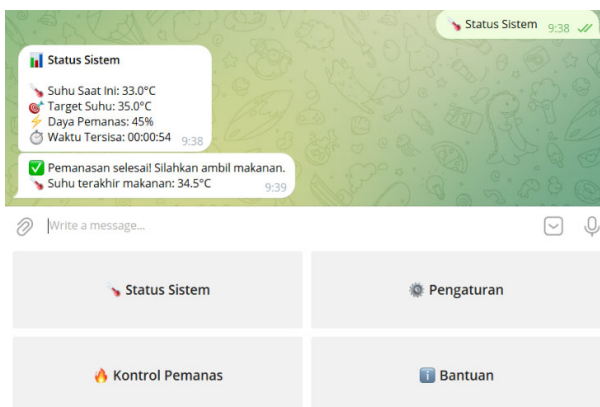




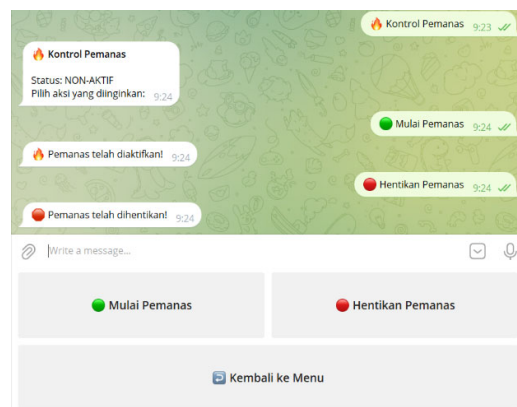
Gambar 10a. Tampilan Pertama Saat Start



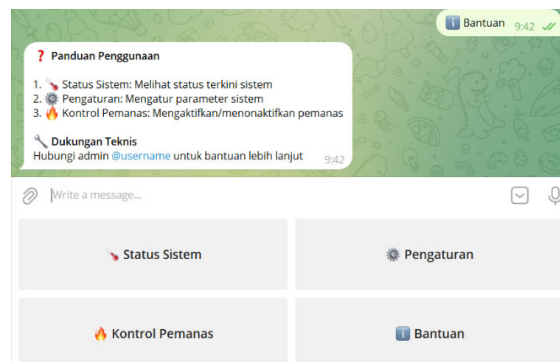
Gambar 10b. Tampilan Mengatur Suhu Dan Timer



Gambar 10d. Tampilan Pengecekan Status Sistem



Gambar 10c. Tampilan Ketika Memulai Atau Menghentikan Pemanas



Gambar 10e. Tampilan Panduan Penggunaan

Gambar 10. Desain Antarmuka Bot Telegram



Pada gambar 10a sampai 10e menunjukkan penggunaan Bot Telegram sebagai antarmuka control, dan pemantauan jarak jauh sistem inkubasi makanan ini. Setelah perintah /start dikirim, pengguna akan melihat menu utama yang terdiri dari Status Sistem, Pengaturan, Kontrol Pemanas, dan Bantuan. Menu Status Sistem menampilkan informasi suhu aktual, suhu target, daya pemanas, dan waktu inkubasi secara *real-time*. Saat proses selesai, sistem mengirimkan notifikasi otomatis berisi suhu akhir makanan. Melalui menu Pengaturan, pengguna dapat mengubah suhu target dan durasi pemanasan dengan membalas perintah menggunakan format angka. Sedangkan pada menu Kontrol Pemanas, pengguna dapat menyalakan atau mematikan pemanas secara manual dengan satu klik tombol.

PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi sistem berjalan sesuai rancangan. Kamera mampu mengenali jenis makanan, sensor suhu GY-906-DCI menunjukkan tingkat *error* rendah, sementara AC Light Dimmer mampu menyesuaikan tegangan secara stabil terhadap nilai kontrol. Aktuator seperti solenoid, kipas, dan LED merespons perintah secara tepat, dan DFPlayer Mini berhasil memutar audio sesuai kondisi. Tombol fisik bekerja normal untuk navigasi menu lokal, sedangkan Bot Telegram merespons perintah dan mengirim notifikasi secara *real-time*. Sistem juga berhasil menjaga suhu inkubasi secara otomatis menggunakan kontrol PID, menunjukkan kestabilan tanpa perlu intervensi manual.

1.1. Pengujian Klasifikasi Objek Makanan

Pengujian ini dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengenali jenis makanan. Sistem harus menampilkan hasil klasifikasi berupa nama makanan dan *confidence score*, lalu mengirim data tersebut ke ESP32 melalui komunikasi serial UART. Hasil Deteksi Jenis Makanan dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11a. Deteksi ayam goreng

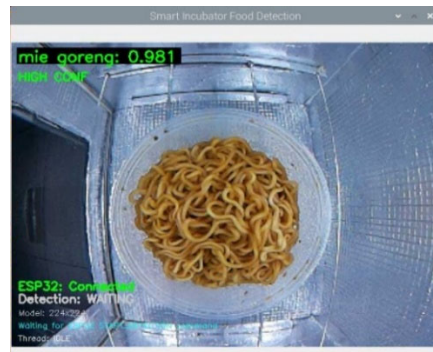


Gambar 11b. Deteksi Tepung

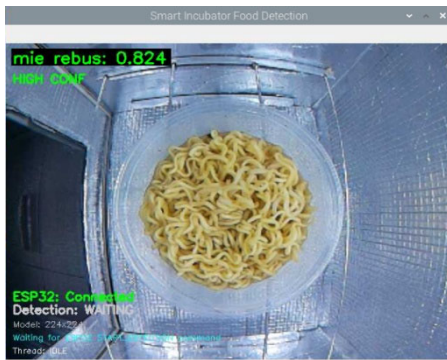




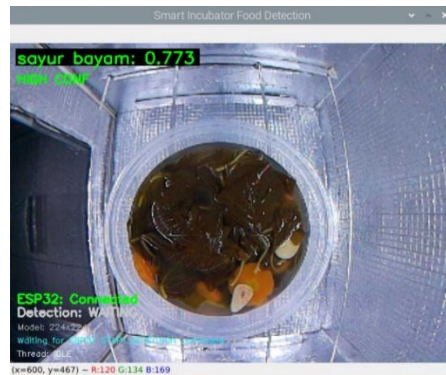
Gambar 11c. Deteksi ayam geprek



Gambar 11d. Deteksi mie goreng



Gambar 11e. Deteksi mie rebus



Gambar 11f. Deteksi sayur bayam

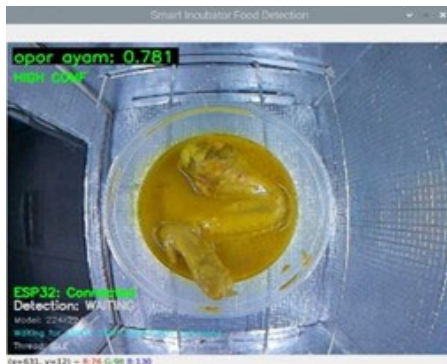


Gambar 11g. Deteksi Asem



Gambar 11h. Deteksi sayur sop

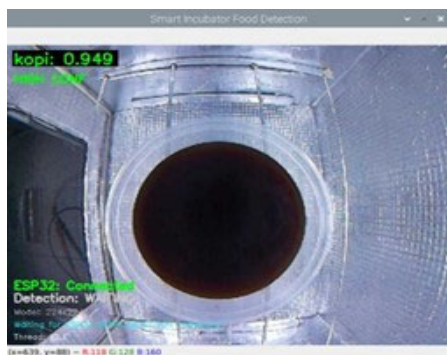




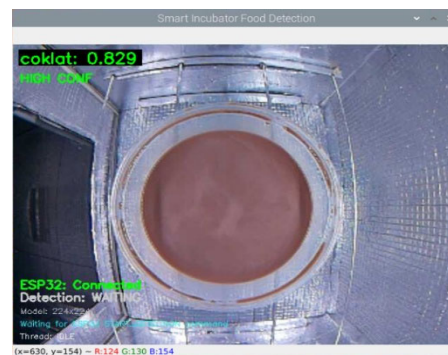
Gambar 11i. Deteksi opor ayam



Gambar 11j. Deteksi susu



Gambar 11k. Deteksi kopi



Gambar 11l. Deteksi coklat

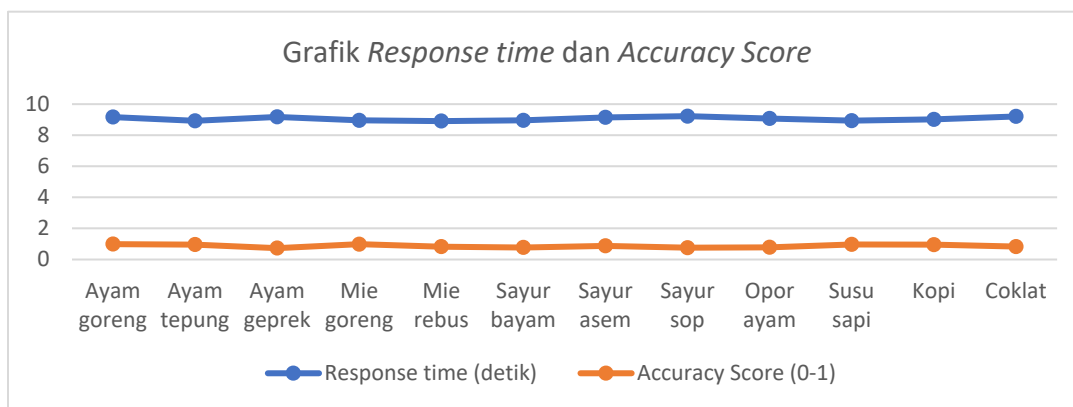
Gambar 11. Hasil Deteksi Jenis Makanan

Tabel 1. Klasifikasi Objek Makanan

No.	Jenis Makanan	Hasil Dikirim ke ESP32	Penetapan Parameter	Response time (detik)	Accuracy Score (0-1)
1.	Ayam goreng	Berhasil	Berhasil	9,16	0,988
2.	Ayam tepung	Berhasil	Berhasil	8,92	0,957
3.	Ayam geprek	Berhasil	Berhasil	9,17	0,737
4.	Mie goreng	Berhasil	Berhasil	8,95	0,981
5.	Mie rebus	Berhasil	Berhasil	8,91	0,824
6.	Sayur bayam	Berhasil	Berhasil	8,95	0,773
7.	Sayur asem	Berhasil	Berhasil	9,14	0,874



8.	Sayur sop	Berhasil	Berhasil	9,22	0,759
9.	Opor ayam	Berhasil	Berhasil	9,07	0,781
10.	Susu sapi	Berhasil	Berhasil	8,93	0,968
11.	Kopi	Berhasil	Berhasil	9,01	0,951
12.	Coklat	Berhasil	Berhasil	9,20	0,829
Rata-rata <i>response time</i> (detik) dan <i>Accuracy Score</i>				9,05	0,869



Gambar 12. Grafik *Response time* dan *Accuracy Score*

Hasil *Response time* dan *Accuracy Score* Klasifikasi Objek Makanan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 12. Pengujian ini mengevaluasi kecepatan dan akurasi sistem dalam mengklasifikasikan 12 jenis makanan. Hasilnya, seluruh objek berhasil dikenali dan datanya dikirim ke ESP32. Rata-rata waktu respon tercatat 9,05 detik, dengan rentang sempit antara 8,93–9,22 detik, menandakan performa sistem yang stabil. Akurasi tertinggi dicapai oleh “Ayam goreng” (0,983), sedangkan terendah pada “Ayam geprek” (0,737), dengan rata-rata skor akurasi 0,869. Grafik menunjukkan waktu respon konsisten dan variasi akurasi antar makanan. Hasil ini menunjukkan sistem cukup andal untuk klasifikasi otomatis dalam proses inkubasi makanan.

1.2. Pengujian Sensor Suhu GY-906-DCI

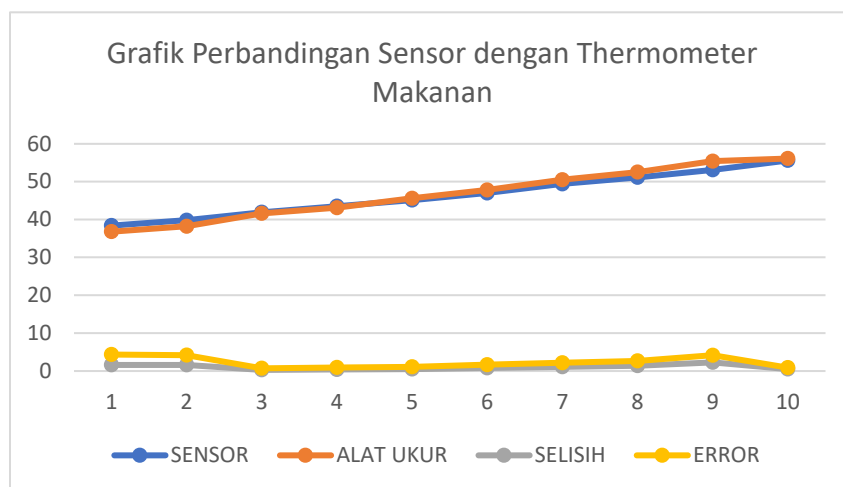
Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi sensor suhu GY-906-DCI dalam membaca suhu permukaan makanan. Pengujian dilakukan dengan melakukan proses inkubasi lalu membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi berupa Termometer makanan. Data suhu dari GY-906-DCI dan termogun dicatat secara berpasangan pada beberapa kondisi suhu yang berbeda. Selisih antara



kedua nilai dihitung sebagai nilai *error*, dan nilai persentase *error* digunakan untuk menilai deviasi sensor terhadap standar. Hasil pengujian Sensor Suhu GY-906-DCI dapat dilihat pada Tabel 2, Gambar 13, dan Gambar 14.

Tabel 2. Pengujian Sensor Suhu GY-906-DCI

No.	Suhu Referensi (°C)	Suhu GY-906-DCI (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1.	36,8	38,4	1,6	4,35
2.	38,2	39,8	1,6	4,19
3.	41,6	41,9	0,3	0,72
4.	43,1	43,5	0,4	0,93
5.	45,6	45,1	0,5	1,10
6.	47,8	47	0,8	1,67
7.	50,5	49,4	1,1	2,18
8.	52,5	51,1	1,4	2,67
9.	55,4	53,1	2,3	4,15
10.	56,1	55,6	0,5	0,89
Rata-rata selisih suhu (°c) dan error (%)			1,05	2,28



Gambar 13. Grafik Perbandingan Sensor dengan Alat Ukur





Gambar 14. Dokumentasi Pengujian Sensor Suhu

Pengujian sensor suhu GY-906-DCI dilakukan untuk menilai akurasi pengukuran suhu makanan dalam ruang inkubasi dengan membandingkannya terhadap termometer makanan sebagai alat ukur referensi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Hasilnya menunjukkan bahwa rata-rata selisih antara nilai sensor dan alat referensi adalah $1,05^{\circ}\text{C}$, dengan nilai *error* rata-rata sebesar 2,28%. *Error* tertinggi tercatat sebesar 4,35% dan terendah 0,72%, yang masih berada dalam batas toleransi pengukuran suhu non-kontak untuk kebutuhan monitoring. Gambar 9 menampilkan grafik perbandingan antara hasil pembacaan sensor dan termometer referensi. Terlihat bahwa grafik dari kedua alat berjalan beriringan, mencerminkan konsistensi dan keakuratan pembacaan sensor. Hasil ini memperkuat klaim bahwa GY-906-DCI mampu memberikan data suhu yang dapat diandalkan dalam kondisi operasional aktual. Dengan performa tersebut, sensor ini layak digunakan sebagai komponen pemantau suhu dalam sistem inkubasi otomatis berbasis IoT.

1.3. Pengujian Output Tegangan AC Light Dimmer

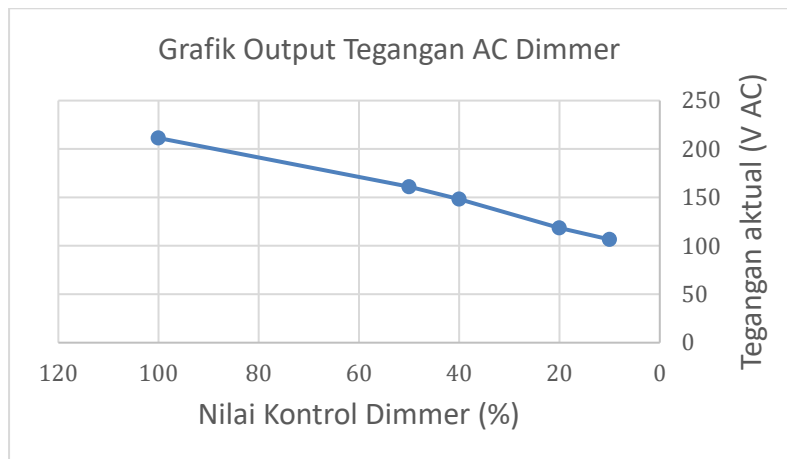
Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja AC Light Dimmer Robotdyn dalam mengatur daya pemanas berdasarkan sinyal kontrol dari ESP32. Fokus pengujian adalah mengamati perubahan tegangan output pada jalur pemanas saat nilai kontrol PWM diubah. Setiap perubahan nilai kontrol diamati untuk memastikan bahwa tegangan meningkat atau menurun secara proporsional sesuai perintah. Hasil pengujian Output Tegangan AC Light Dimmer dapat dilihat pada Tabel 3, Gambar 15, dan Gambar 16.

Tabel 3. Pengujian Output Tegangan AC Light Dimmer

No.	Selisih suhu aktual dengan <i>set point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	Nilai Kontrol	Tegangan aktual (V AC)
-----	--	---------------	------------------------



Dimmer (%)			
1.	6	100	211,3
2.	1	50	161
3.	0,7	40	148,2
4.	0,3	20	118,4
5.	0,1	10	106,5



Gambar 15. Grafik Output Tegangan AC Light Dimmer



Gambar 16. Dokumentasi Pengujian AC Light Dimmer



Pengujian ini mengevaluasi respons AC Light Dimmer dalam mengatur tegangan pemanas berdasarkan selisih suhu terhadap set point. Tabel 3 menunjukkan bahwa semakin besar selisih negatif suhu, semakin tinggi nilai kontrol dimmer dan tegangan output. Pada selisih 6 °C, kontrol mencapai 100% dengan tegangan 211,3 V AC. Saat suhu mendekati target, tegangan menurun secara bertahap hingga 0 V. Gambar 15 menunjukkan grafik yang menurun seiring berkurangnya nilai kontrol, mengindikasikan hubungan proporsional antara kontrol dimmer dan output tegangan. Hal ini membuktikan sistem bekerja efisien dan adaptif dalam menstabilkan suhu, sekaligus mencegah overheating yang dapat menurunkan kualitas makanan.

1.4. Pengujian Aktuator Solenoid, Kipas, dan LED

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan aktuator solenoid *door lock*, kipas DC, dan LED dapat bekerja sesuai perintah dari mikrokontroler ESP32. Solenoid diuji dengan memerintahkan sistem untuk mengunci dan membuka pintu ruang inkubasi. Kipas DC diuji dengan mengaktifkan sirkulasi udara secara otomatis selama proses inkubasi berlangsung. LED diuji sebagai indikator visual yang menunjukkan status sistem, seperti proses aktif atau selesai. Setiap perintah yang dikirim melalui Bot Telegram atau tombol manual diamati untuk memastikan respons aktuator sesuai fungsi.

Tabel 4. Pengujian Aktuator Solenoid, Kipas, dan LED

No.	Aktuator	Inkubasi Dimulai	Inkubasi Selesai	<i>Response time</i> (detik)
1.	Solenoid	Menyala	Mati	0,6
2.	Kipas	Menyala	Mati	0,82
3.	LED	Menyala	Mati	0,82
Rata-rata <i>Response time</i> (detik)				0,75

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kecepatan respon aktuator terhadap perintah dari sistem saat proses inkubasi dimulai dan selesai. Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh aktuator (solenoid, kipas, dan LED) berhasil menyala saat proses dimulai dan mati kembali saat inkubasi selesai. Waktu respon tercatat cukup cepat dan konsisten, dengan solenoid memiliki waktu tercepat yaitu 0,6 detik, sementara kipas dan LED masing-masing memiliki waktu respon 0,82 detik. Rata-rata waktu respon keseluruhan adalah 0,75 detik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan kendali aktuator secara *real-time* dan responsif, yang penting untuk menjaga kestabilan proses pemanasan serta keamanan alat.



1.5. Pengujian Modul Dfplayer Mini

Tabel 5. Pengujian Modul Dfplayer Mini

No.	Kondisi Pengujian	File Audio yang Diputar	File Audio Sesuai	Suara Keluar	<i>Response time</i> (detik)
1.	Ayam goreng	001.mp3	Iya	Iya	6,03
2.	Ayam tepung	002.mp3	Iya	Iya	5,96
3.	Ayam geprek	003.mp3	Iya	Iya	5,25
4.	Mie goreng	004.mp3	Iya	Iya	6,10
5.	Mie rebus	005.mp3	Iya	Iya	6,06
6.	Sayur bayam	006.mp3	Iya	Iya	5,43
7.	Sayur asem	007.mp3	Iya	Iya	6,15
8.	Sayur sop	008.mp3	Iya	Iya	5,86
9.	Opor ayam	009.mp3	Iya	Iya	5,75
10.	Susu sapi	010.mp3	Iya	Iya	5,98
11.	Kopi	011.mp3	Iya	Iya	6,13
12.	Coklat	012.mp3	Iya	Iya	6,09
Rata-rata <i>Response time</i> (detik)					5,90

Hasil Pengujian Modul Dfplayer Mini dapat dilihat pada tabel 5. Pengujian dilakukan untuk memastikan modul DFPlayer Mini dapat memutar audio pelafalan nama makanan, sebagai notifikasi suara pada proses klasifikasi objek makanan yang berhasil. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah pemutaran file audio melalui skenario otomatis dan manual. Respon sistem diamati untuk memastikan DFPlayer dapat membaca file dari kartu microSD dan menghasilkan keluaran suara melalui speaker. Hasil menunjukkan bahwa seluruh file audio diputar dengan benar dan suara keluar tanpa kendala. Nilai *response time* berkisar antara 5,25 detik hingga 6,15 detik,



dengan rata-rata 5,90 detik. Kesesuaian file dan keandalan pemutaran suara mendukung fungsionalitas alat dalam memberikan umpan balik suara secara tepat.

1.6. Pengujian *Push Button* pada Alat

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan *push button* pada alat yang berfungsi sebagai input manual dapat direspons dengan baik oleh ESP32. Pengujian dilakukan dengan menekan *push button* pada berbagai kondisi, kemudian diamati apakah sistem memberikan respons yang sesuai, dan berapa lama waktu responnya. Hasil Pengujian *Push Button* pada Alat dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Pengujian *Push Button* pada Alat

No.	Push Button	Fungsi Utama	Kondisi Pengujian	Respon Ditampilkan pada LCD	Response time (detik)
1.	UP	Navigasi ke atas	Tekan 1x saat di menu utama	Menu bergeser ke atas	0,14
2.	UP	Seting suhu target	Tekan 1x saat di seting suhu target	Nilai suhu target naik 0.5	0,16
3.	UP	Seting timer	Tekan 1x saat di seting jam/menit	Nilai jam/menit naik 1	0,19
4.	DOWN	Navigasi ke bawah	Tekan 1x saat di menu utama	Menu bergeser ke bawah	0,11
5.	DOWN	Seting suhu target	Tekan 1x saat di seting suhu target	Nilai suhu target turun 0.5	0,14
6.	DOWN	Seting timer	Tekan 1x saat di seting jam/menit	Nilai jam/menit turun 1	0,15
7.	SELECT	Memilih menu	Tekan setelah memilih submenu	Menu/submenu terbuka	0,13



8.	<i>MODE</i>	Beralih antar mode tampilan	Tekan saat proses <i>idle</i> atau <i>standby</i>	Berpindah ke mode berikutnya	0,18
Rata-rata <i>Response time</i> (detik)					0,15

Pengujian *push button* dilakukan untuk menilai kecepatan dan keakuratan respon alat dalam menerima input dari pengguna. Tabel menunjukkan bahwa seluruh tombol (*UP*, *DOWN*, *SELECT*, dan *MODE*) bekerja sesuai fungsinya, baik untuk navigasi menu, pengaturan suhu dan timer, maupun pemilihan dan perpindahan mode tampilan. Waktu respon yang diukur dari tekanan tombol hingga perubahan tampilan LCD menunjukkan hasil rata-rata sebesar 0,15 detik, dengan waktu tercepat 0,11 detik dan waktu terlama 0,19 detik. Nilai ini tergolong sangat responsif, memastikan pengalaman pengguna yang nyaman dan kendali manual yang efektif terhadap sistem.

1.7. Pengujian Bot Telegeram

Pengujian dilakukan untuk memastikan Bot Telegram dapat berfungsi sebagai antarmuka komunikasi jarak jauh antara pengguna dan sistem. Setiap perintah diuji dengan mengamati respons sistem, termasuk kecepatan balasan, keakuratan informasi yang ditampilkan, dan keberhasilan eksekusi perintah. Notifikasi otomatis seperti informasi suhu akhir atau proses selesai juga diuji untuk memastikan dikirim dengan tepat waktu dan isi pesan sesuai kondisi sebenarnya. Hasil Pengujian Bot Telegeram dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Pengujian Bot Telegeram

No.	Perintah	Fungsi Utama	Respon Sistem	<i>Response time</i> (detik)
1.	Status Sistem	Untuk melihat status sistem inkubator terkini	Memunculkan data suhu, daya pemanas, dan timer	1,5
2.	Kontrol Pemanas	Untuk masuk ke menu mulai/hentikan pemanas	Menampilkan menu mulai/hentikan pemanas	2,46
3.	Mulai Pemanas	Untuk memberikan perintah memulai proses inkubasi	Inkubator memulai proses inkubasi	2,57



4.	Hentikan Pemanas	Untuk memberikan perintah memulai proses inkubasi	Inkubator menghentikan proses inkubasi	1,42
5.	Kembali ke Menu	Untuk kembali ke menu utama	Menampilkan Menu utama	2,84
6.	Pengaturan	Untuk masuk ke menu Set Temperautr dan Set Timer	Menampilkan menu Set Temperautr dan Set Timer	1,5
7.	Set Temperatur	Untuk mengatur suhu target	Sistem mengganti suhu target sesuai dengan yang diinputkan	1,1
8.	Set Timer	Untuk mengatur Timer inkubasi	Sistem mengganti timer inkubasi sesuai dengan yang diinputkan	1,2
9.	Bantuan	Untuk menampilkan panduan penggunaan	Menampilkan panduan penggunaan	1,59
Rata-rata <i>Response time</i> (detik)				1,80

Pengujian Bot Telegram dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas kendali sistem inkubator secara jarak jauh. Setiap perintah yang dikirimkan pengguna melalui Telegram berhasil diproses sistem dengan baik, mulai dari melihat status, mengatur parameter, hingga mengontrol proses inkubasi. Rata-rata waktu respon sistem terhadap perintah adalah 1,80 detik, dengan respon tercepat terjadi pada perintah “Set Temperatur” (1,1 detik) dan paling lama pada perintah “Kembali ke Menu” (2,84 detik). Meskipun terdapat variasi waktu respon, keseluruhan sistem menunjukkan performa yang responsif dan dapat diandalkan untuk kendali berbasis IoT.

1.8. Pengujian Kendali Suhu Otomatis

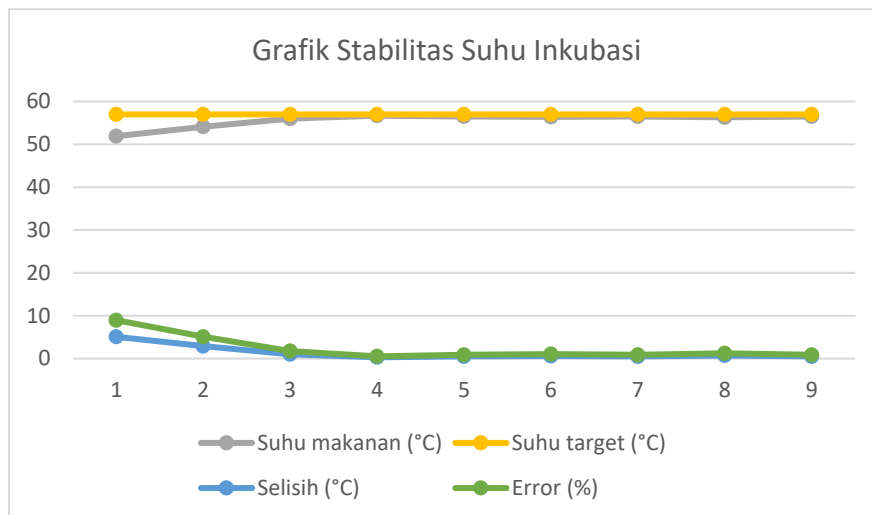
Menjaga kestabilan suhu sangat penting untuk mempertahankan nilai gizi, misalnya vitamin C pada sayuran mulai rusak signifikan pada suhu di atas 70 °C (kehilangan > 50 % pada 80 °C) (Mieszczakowska-Fraç et al., 2021). Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengatur suhu ruang inkubasi secara otomatis menggunakan metode pengendalian PID. Pengujian dilakukan dengan



menjalankan proses inkubasi kemudian memantau perubahan suhu secara berkala sampai proses inkubasi selesai. Hasil pengujian Kendali Suhu Otomatis dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 16.

Tabel 8. Pengujian Kendali Suhu Otomatis

No.	Menit ke-	Suhu makanan (°C)	Suhu target (°C)	Selisih (°C)	Error (%)
1.	2	51,9	57	5,1	8,95
2.	4	54,1	57	2,9	5,09
3.	6	56	57	1	1,75
4.	8	56,7	57	0,3	0,53
5.	10	56,5	57	0,5	0,88
6.	12	56,4	57	0,6	1,05
7.	14	56,5	57	0,5	0,88
8.	16	56,3	57	0,7	1,23
9.	18	56,6	57	0,4	0,70
Rata-rata selisih suhu (°c) dan error (%)				1,33	2,34



Gambar 16. Grafik Stabilitas Suhu Inkubasi



Pengujian dilakukan untuk menilai efektivitas sistem dalam menjaga kestabilan suhu selama proses inkubasi otomatis. Makanan yang diuji yaitu sayur asem. Suhu internal pengolahan sayur yang direkomendasikan adalah 57°C , ketentuan ini berlaku untuk berbagai jenis sayuran, baik yang masih segar maupun dalam bentuk makanan siap saji (Liivat, 2024). Maka dari itu suhu target pada pengujian ini ditetapkan sebesar 57°C , dan pemantauan dilakukan secara berkala setiap dua menit selama 18 menit. Dari data pada Tabel 8, terlihat bahwa pada menit ke-2, suhu makanan masih cukup jauh dari target ($51,9^{\circ}\text{C}$), dengan selisih $5,1^{\circ}\text{C}$ dan *error* $8,95\%$. Namun, sistem dengan kontrol PID mampu memperkecil selisih secara progresif hingga mendekati suhu target pada menit ke-8. Setelah menit ke-10, suhu stabil di sekitar $56,5^{\circ}\text{C}$ dengan selisih rata-rata hanya $0,3\text{--}0,5^{\circ}\text{C}$ dan *error* berkisar $0,70\text{--}1,23\%$. Rata-rata keseluruhan selisih suhu sebesar $1,33^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata *error* $2,34\%$, menunjukkan kinerja sistem yang cukup akurat dan responsif dalam menyesuaikan suhu sesuai kebutuhan. Grafik stabilitas suhu pada Gambar 16 memperlihatkan kurva suhu sensor yang dengan cepat mendekati dan mempertahankan suhu target secara konsisten.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem inkubasi makanan berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan fitur *auto setting* berbasis identifikasi objek visual telah berhasil diimplementasikan dan berjalan sesuai dengan fungsinya. Sistem mampu melakukan klasifikasi jenis makanan menggunakan kamera OV5647 dan Raspberry Pi 4 secara *real-time*, serta menetapkan parameter suhu dan waktu inkubasi secara otomatis berdasarkan hasil deteksi tersebut.

Kontrol suhu otomatis menggunakan metode PID terbukti mampu menjaga suhu inkubasi dengan stabil, dengan rata-rata *error* sebesar $2,34\%$ dan deviasi suhu sebesar $1,33^{\circ}\text{C}$. Hal ini penting untuk menjaga nilai gizi makanan, terutama pada bahan seperti sayuran hijau yang sensitif terhadap suhu tinggi. Sensor suhu GY-906-DCI menunjukkan akurasi tinggi dengan rata-rata *error* $2,28\%$ dibanding alat ukur standar. Modul AC Light Dimmer Robotdyn mampu mengatur daya pemanas secara proporsional terhadap nilai kontrol yang diberikan oleh mikrokontroler.

Aktuator seperti kipas, solenoid, LED, dan DFPlayer Mini merespons perintah dari sistem secara cepat dan konsisten, sedangkan *push button* memberikan kendali manual dengan rata-rata waktu respon $0,15$ detik. Bot Telegram yang digunakan sebagai antarmuka pengguna juga bekerja efektif, dengan respons cepat (rata-rata $1,80$ detik) dalam menampilkan status sistem, menerima perintah, serta mengirim notifikasi otomatis. Seluruh sistem bekerja secara otomatis, terintegrasi, dan dapat dipantau maupun dikendalikan dari jarak jauh dengan baik.



Adapun beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini agar lebih optimal adalah sebagai berikut :

1. Menambahkan sistem proteksi suhu berlebih agar kandungan nutrisi makanan tetap terjaga, terutama vitamin C yang mudah rusak di suhu di atas 70 °C.
2. Menggunakan model klasifikasi yang lebih kompleks atau berbasis data lokal untuk meningkatkan akurasi deteksi berbagai jenis makanan.
3. Menyempurnakan antarmuka pengguna, baik pada perangkat maupun Telegram, agar lebih interaktif dan mendukung pengaturan lanjutan.
4. Melakukan penyesuaian ulang konstruksi alat, termasuk tata letak dan isolasi termal, agar sirkulasi udara dan efisiensi ruang lebih optimal.
5. Menambahkan notifikasi suara melalui DFPlayer Mini saat proses selesai atau terjadi kesalahan, untuk meningkatkan kejelasan umpan balik ke pengguna.
6. Mengganti elemen pemanas dengan daya lebih besar agar proses pemanasan lebih cepat dan responsif terhadap perubahan suhu target, khususnya untuk makanan bersuhu inkubasi tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, pertolongan, dan kemudahan-Nya, sehingga artikel ilmiah ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, teladan sepanjang masa, beserta keluarga dan para sahabat beliau. Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik moril maupun teknis, selama proses penelitian dan penulisan artikel ini. Penelitian tugas akhir ini secara khusus didanai dari sumber dana penelitian bapak Heru Supriyono, ST., MSc., PhD. Kemudian tak lupa secara khusus, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta atas doa, dukungan tanpa henti, serta semangat yang menjadi motivasi utama dalam menyelesaikan studi dan penelitian ini.
2. Heru Supriyono, ST., MSc., PhD. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan kesabarannya dalam mendampingi proses penelitian Tugas akhir ini.
3. Seluruh dosen dan staf pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta inspirasi selama masa studi.
4. Rekan-rekan seperjuangan di kos Pandawa, khususnya saudara Helmi, Satria, Hafizh, Jefri, Alfajar, serta teman-teman lain yang turut berkontribusi dalam perancangan, pengujian alat, hingga penyusunan artikel ini.



5. Komunitas Robot Research UMS atas fasilitas, ilmu, serta semangat yang diberikan selama pelaksanaan penelitian.
6. Seluruh teman Teknik Elektro angkatan 2021 atas kebersamaan, semangat, dan dukungan hingga terselesaikannya karya ilmiah ini.

Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal jariyah dan mendapat balasan yang terbaik dari Allah SWT. Aamiin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustina, F., & Sukron, M. (2022). Deteksi Kematangan Buah Pepaya Menggunakan Algoritma YOLO Berbasis Android. *Jurnal Ilmiah Infokam*, 18(2), 70–78.
- [2] Alfiano, O., & Rahayu, S. (2024). Implementasi Algoritma *Deep Learning* YOLO (*You Only Look Once*) Untuk Deteksi Kualitas Kentang Segar, 2(3), 2470–2478.
- [3] Amalia, A., Liputo, S. A., & Antuli, Z. (2023). Uji Efektifitas Suhu Fermentasi Terhadap Karakteristik Mikrobiologi dan Kimia Bakasang Ikan Cakalang. *Journal Of Agritech Science (JASc)*, 7(01), 41–50.
- [4] Faika, S., Suhaeb, S., Jaya, H., & Idris, M. (2024). Jamur Tiram Melalui Pemanfaatan Teknologi Monitoring Berbasis IOT (*Internet of Things*). *Resona : Jurnal Ilmiah Pengabdian Masyarakat*, 8(1), 26–35.
- [5] Herindra, S. (2024). Rancang bangun pemantauan suhu, kelembaban dan proses fermentasi pada tempe menggunakan blynk berbasis iot. *Skripsi*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.
- [6] Mieszczakowska-Fraç, M., Celejewska, K., & Płocharski, W. (2021). *Impact of innovative technologies on the content of vitamin C and its bioavailability from processed fruit and vegetable products*. *Antioxidants*, 10(1), 1–19.
- [7] Naturizal, R., Fuadi, W., & Rosnita, L. (2024). Sistem Pendeteksi Tingkat Kesegaran Daging Ayam Pada Citra Menggunakan Metode *Convolutional Neural Network* (CNN) Berbasis Android. *METHOMIKA: Jurnal Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*, 8(2), 301–312.
- [8] Ningsi, Handayani, B. R., & Amaro, M. (2025). Pengaruh Jenis Pisang Terhadap Mutu Yoghurt. *Prosiding SAINTEK*, 7(November 2024), 181–193.
- [9] Purnomo, T. (2023). Efek Lama Inkubasi Terhadap Nilai pH, Total Asam, Serta Sinersis Pada Dadih Susu Sapi. *Skripsi*. Riau: UIN SUSKA RIAU.
- [10] Putra, V. H. C., Al-husaini, M., Wahyu, A. P., & Raharja, A. R. (2025). Perancangan Sistem Monitoring Cerdas Berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan Algoritma *Random Forest Regression* untuk Deteksi Ketinggian pada Tanaman Tomat Cherry. *Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(January), 10–25.



- [11] Saputra, D. H., Imran, B., & Juhartini. (2023). Object Detection Untuk Mendeteksi Citra Buah-Buahan Menggunakan Metode Yolo. *Jurnal Kecerdasan Buatan Dan Teknologi Informasi*, 2(2), 70–80.
- [12] Tambing, Y., Muhallim, M., & Suppa, R. (2024). Prototype Sistem Kontrol Lampu Berbasis *Internet of Things* (Iot) Menggunakan Nodemcu. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 266–274.
- [13] Yohandoko, E. R. (2020). Proses Inkubasi Gudeg Kaleng Bu Tjitro 1925 di CV. Buana Citra Sentosa Yogyakarta. *Skripsi*. Jember: Politeknik Negeri Jember.
- [14] Liivat, K. (5 September 2024). *Hot Holding Temperature Guide (Free Hot Holding Temp Log)*. Diambil dari https://www.fooddocs.com/post/hot-holding-temperature?utm_source=chatgpt.com

