

IMPLEMENTASI YOLOV8 NANO PADA SISTEM MONITORING BUDIDAYA JAMUR TIRAM BERBASIS IOT

Andi Nopiandi¹, Fakhriyal Riyandi Yasin², Rizki Haddi Prayoga³, Somantri⁴, Ivana Lucia Kharisma⁵

^{1,2,3,4,5} Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Komputer dan Desain, Universitas Nusa Putra

, ¹andi.nopiandi_ti21@nusaputra.ac.id, ²fakhriyal.riyandi_ti21@nusaputra.ac.id,

³rizki.haddi_ti21@nusaputra.ac.id, ⁴somantri@nusaputra.ac.id, ⁵ivana.lucia@nusaputra.ac.id

Abstrak

Jamur tiram merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak dibudidayakan di Indonesia. Namun, proses pemantauan pertumbuhannya secara konvensional masih dilakukan secara manual, sehingga membutuhkan waktu, tenaga, dan rentan terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring pertumbuhan jamur tiram secara otomatis dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT) dan Artificial Intelligence (AISistem ini menggunakan sensor DHT22 untuk membaca suhu dan kelembapan, sensor BH1750 untuk mengukur intensitas cahaya, serta kamera ESP32-CAM untuk mengambil gambar jamur. Data dikirim melalui ESP32 dan dianalisis menggunakan Python, sementara gambar diproses oleh model YOLOv8 Nano untuk mengklasifikasikan fase pertumbuhan jamur menjadi baglog, jamur muda, dan jamur siap panen. Hasil pemantauan ditampilkan secara real-time pada dashboard dan disimpan dalam database MySQL. Hasil pelatihan model menunjukkan performa yang cukup baik dengan nilai rata-rata precision sebesar 0,69, recall sebesar 0,78, dan mean Average Precision (mAP@0.5) sebesar 0,71. Pengujian lanjutan dilakukan terhadap 15 gambar uji dari masing-masing fase jamur, dan seluruh gambar berhasil terdeteksi sesuai dengan kelas yang sebenarnya. Selain itu, pada uji terhadap 10 gambar negatif (tanpa objek jamur). Keberhasilan sistem ini juga didukung oleh jaringan yang stabil untuk pengiriman data, pencahayaan ruang budidaya yang memadai saat pengambilan gambar, serta pengaturan suhu dan kelembapan yang dapat menyesuaikan secara otomatis dengan fase pertumbuhan jamur. Sistem ini membuktikan kemampuannya dalam memantau kondisi pertumbuhan jamur secara otomatis dan akurat, serta berpotensi menjadi solusi praktis dalam mendukung kegiatan budidaya jamur yang lebih modern dan efisien.

Kata kunci : AI, ESP32, IoT, Jamur Tiram, YOLOv8 Nano

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris dengan mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani, sehingga peran petani sangat penting dalam kehidupan sehari-hari (Astuti, 2024). Dengan kekayaan sumber daya alam yang melimpah, Indonesia memiliki peluang besar dalam sektor pertanian, termasuk budidaya jamur (Faturachman & Kusumawati, 2024). Beberapa jenis jamur yang umum dibudidayakan di Indonesia antara lain jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*), jamur kuping (*Auricularia auricula-judae*), jamur kancing (*Agaricus bisporus*), jamur shiitake (*Lentinula edodes*), dan jamur lingzhi (*Ganoderma lucidum*). Penelitian ini difokuskan pada satu jenis jamur, yaitu jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Jamur tiram adalah jamur konsumsi bernilai ekonomi tinggi dan banyak diminati masyarakat, serta masa panennya yang relatif singkat sehingga berpotensi meningkatkan pendapatan petani (Astuti, 2024).

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023, tiga provinsi dengan produksi jamur tertinggi adalah Jawa Barat yaitu 35.000 kg, Jawa Tengah sebanyak 9.000 kg, dan Jawa Timur sebanyak 7.000 kg. Total produksi jamur nasional tahun 2023

mencapai 60.000 kg, turun dari 63.000 kg pada tahun 2022, dan lebih rendah daripada 90.000 kg pada tahun 2021 (BPS, 2024). Penurunan produksi ini menunjukkan perlunya upaya peningkatan produksi jamur tiram putih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Salah satu kendala utama dalam budidaya jamur tiram adalah kurangnya pemantauan kondisi lingkungan, terutama suhu dan kelembapan di ruang budidaya (Laia et al., 2025). Pertumbuhan jamur tiram sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti suhu ideal sekitar 26–28°C dan kelembapan 60–85%. Jika kondisi ini tidak terjaga, jamur dapat cepat membusuk dan menyebar ke jamur lainnya sehingga menurunkan hasil panen (Irfan, 2024).

Sayangnya, sebagian besar petani misalnya di Kampung Ciherang, Desa Margaluyu, Kecamatan Sagaranten, Sukabumi masih memantau suhu dan kelembapan ruang budidaya secara manual. Jika suhu atau kelembapan tidak sesuai, petani menyiram tanah dan dinding ruang budidaya beberapa kali sehari sesuai kondisi cuaca. Cara ini tidak efisien dari segi tenaga maupun waktu.

Teknologi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) dan Internet of Things (IoT) berpotensi

membantu mengatasi permasalahan dalam budidaya jamur tiram. Namun, penerapannya di sektor pertanian Indonesia masih minim karena mayoritas petani masih mengandalkan metode tradisional. Saat ini, AI untuk pertanian mulai dikembangkan. Salah satu contohnya adalah Convolutional Neural Network (CNN) yang dapat menganalisis citra digital untuk mendeteksi objek secara otomatis (Khan et al., 2025). Sementara itu, IoT memungkinkan perangkat-perangkat terhubung dan berkomunikasi melalui internet (Miller et al., 2025).

Penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem berbasis IoT untuk meningkatkan efisiensi budidaya jamur tiram, khususnya dengan pemantauan suhu dan kelembaban otomatis. Umumnya sistem tersebut menggunakan sensor DHT11/DHT22 dan modul ESP32 untuk mengirim data ke aplikasi (misalnya Blynk atau Firebase). Namun, kebanyakan sistem yang ada belum dilengkapi deteksi visual berbasis AI, sehingga pemantauan tahap pertumbuhan jamur masih dilakukan secara manual.

Studi mengenai varian YOLO menunjukkan YOLOv8 Nano (YOLOv8n) memiliki keseimbangan lebih baik antara kecepatan inferensi dan akurasi dibandingkan model-model ringan generasi sebelumnya seperti YOLOv5n, EfficientDet-D0, dan SSD-MobileNet. Benchmark dan studi komparatif melaporkan bahwa YOLOv8n mencapai mAP setara atau lebih tinggi sambil mempertahankan latensi inferensi yang rendah, sehingga cocok untuk aplikasi real-time pada perangkat edge. Pada perangkat embedded atau IoT berdaya terbatas (misalnya Raspberry Pi, Jetson Nano, atau ESP32-CAM), eksperimen menunjukkan YOLOv8n dapat berjalan dengan trade-off akurasi/kecepatan yang lebih baik dibandingkan EfficientDet-D0 maupun SSD-MobileNet. Oleh karena itu, penelitian ini memilih YOLOv8n berdasarkan bukti kinerja tersebut serta kebutuhan sistem pemantauan jamur tiram yang memerlukan inferensi cepat dan cukup akurat (Okano et al., 2025).

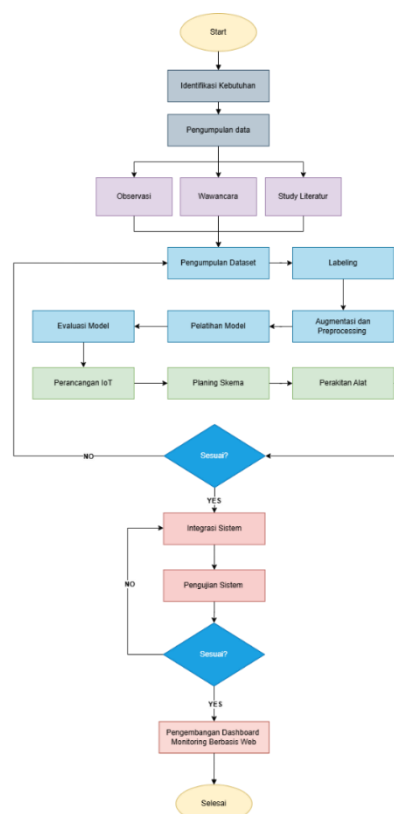
Dalam penelitian ini, sistem monitoring menggunakan kamera ESP32-CAM untuk mendeteksi pertumbuhan jamur dan sensor suhu DHT22 untuk memantau suhu ruangan secara real-time. Sistem juga dilengkapi dengan output berupa penyemprotan air otomatis terjadwal guna menjaga kelembaban, serta kipas angin yang menyala otomatis jika suhu ruangan terlalu tinggi. Penggunaan kamera untuk deteksi jamur telah banyak diterapkan dalam berbagai penelitian pengolahan citra digital (Nurlatifa et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat alat pemantau pertumbuhan jamur tiram putih berbasis IoT yang dilengkapi teknologi YOLOv8 untuk memantau suhu dan kelembaban secara otomatis. Sistem ini diharapkan dapat membantu petani memantau kondisi jamur tiram putih sebagai alternatif pemantauan manual.

2. Metode

Dalam penelitian ini, pembangunan sistem monitoring berbasis IoT untuk budidaya jamur tiram menggunakan metode campuran (Mixed Methods), yakni gabungan antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif yang saling melengkapi. Pemilihan metode ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang menyeluruh, baik dari segi teknis sistem yang dikembangkan maupun realitas permasalahan yang dihadapi di lapangan. Pendekatan kualitatif dimanfaatkan untuk menggali informasi secara mendalam terkait kondisi lingkungan budidaya jamur tiram, pola pertumbuhannya, serta kebutuhan para petani

terhadap sistem otomatisasi (Agustini et al., 2023). Informasi ini dikumpulkan melalui observasi langsung, wawancara dengan petani, dan dokumentasi pendukung, sehingga dapat memberikan konteks yang utuh terhadap masalah yang ingin diselesaikan.

Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur kinerja sistem secara objektif. Pengujian dilakukan terhadap berbagai aspek, seperti keefektifan penyiraman otomatis, kestabilan suhu yang diatur oleh kipas, dan akurasi model YOLOv8 Nano dalam mengenali objek di area budidaya. Data hasil pengukuran ini kemudian dianalisis menggunakan teknik statistik melalui proses pengujian langsung di lapangan. Berikut alur lengkap dari tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

Penelitian dimulai dari identifikasi kebutuhan dan pengumpulan data (observasi, wawancara, studi literatur), dilanjutkan penyusunan serta pelabelan dataset, augmentasi dan preprocessing, pelatihan serta evaluasi model YOLOv8-Nano. Secara paralel dirancang arsitektur IoT, disusun skema, dan dirakit perangkat. Komponen lalu diintegrasikan dan diuji secara iteratif hingga sesuai, kemudian dikembangkan dashboard monitoring berbasis web untuk menampilkan data lingkungan, status aktuator, dan hasil deteksi mengakhiri proses saat seluruh subsistem berfungsi terpadu.

2.1 Pengumpulan Dataset

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode wawancara dan observasi langsung terhadap petani jamur tiram, serta penelusuran referensi dari berbagai studi literatur yang berkaitan dengan pemantauan kondisi lingkungan budidaya. Pelaksanaan observasi dilakukan di lokasi budidaya jamur tiram milik Bapak Heri yang berlokasi di Desa Cibentang Gunungguruh. Berdasarkan hasil observasi tersebut, diperoleh informasi mengenai kondisi aktual lingkungan budidaya jamur tiram, termasuk suhu, kelembapan, serta sistem manual yang selama ini digunakan untuk pengaturan sirkulasi udara dan penyiraman. Ditemukan bahwa proses pemantauan dan pengendalian lingkungan masih dilakukan secara konvensional, sehingga berpotensi menyebabkan ketidakteraturan dalam perawatan jamur.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Selain melakukan observasi langsung, wawancara juga dilakukan dengan Bapak Heri, seorang petani jamur tiram di Desa Cibentang Gunungguruh. Berdasarkan hasil wawancara tersebut, dapat disimpulkan bahwa keberhasilan dalam budidaya jamur tiram sangat bergantung pada kestabilan suhu, kelembapan ruangan dan intensitas cahaya. Menurut pengalaman Bapak Heri, hampir semua petani masih harus memberikan perhatian khusus terhadap kondisi lingkungan budidaya, karena jamur tiram sangat rentan terhadap suhu tinggi. Sementara itu, studi literatur dilakukan untuk mendalami penerapan teknologi YOLOv8 Nano dan Internet of Things (IoT) (Ayu Syahfitri, 2025) dalam pemantauan lingkungan pertanian. Kajian ini menjadi landasan dalam perancangan sistem monitoring otomatis berbasis real-time yang dirancang untuk

meningkatkan efisiensi dan akurasi pemantauan budidaya jamur tiram.

2.2 Pelatihan Model YOLOv8 Nano

a. Pengumpulan Dataset

Proses pengumpulan dataset dilakukan dengan mengumpulkan 2000 gambar jamur tiram dari berbagai sumber terbuka seperti Roboflow, Pexels serta dokumentasi langsung di lapangan. Gambar diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yaitu baglog, jamur muda, dan jamur siap panen, serta dilengkapi dengan negative sample berupa gambar non-jamur seperti motor, mobil, dan manusia. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Proposional Dataset

Kelas Jamur	Jumlah Total	Train (80%)	Validasi (10%)	Test (10%)	Sumber Gambar
Baglog	647	518	65	64	Dataset pribadi Roboflow, Pexels, Dataset pribadi Dataset pribadi Pexels
Jamur Muda	647	518	65	64	
Siap Panen	646	516	65	65	
Negatif	60	48	6	6	
Total	2000	1600	201	199	

Pada tabel di atas, pemilihan gambar mempertimbangkan variasi kondisi seperti pencahayaan, sudut pandang, dan latar belakang, agar model dapat belajar mengenali jamur tiram dari berbagai situasi yang beragam sebagaimana yang ditemui di lapangan, seperti cahaya terang, redup, atau posisi kamera yang berbeda-beda.

b. Labeling Dataset

Pada setiap gambar, objek jamur ditandai menggunakan bounding box agar posisi objek dapat dikenali dengan jelas oleh model YOLOv8 Nano. Dalam penelitian ini, proses anotasi dilakukan melalui platform makesense.ai (*Makesense.Ai*, n.d.).

AUGMENTASI

Dataset Jamur

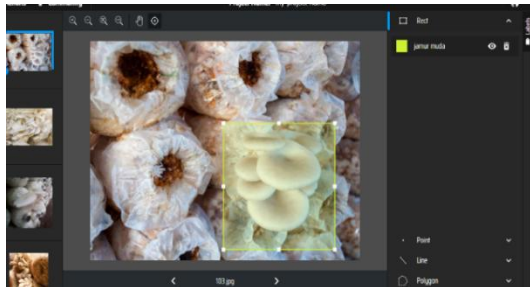


Gambar 3. Labeling Gambar

Gambar 3. menggambarkan proses anotasi objek jamur tiram, yaitu tahapan penting yang memerlukan ketelitian tinggi. Dalam proses ini, setiap jamur yang terlihat dalam gambar harus ditandai menggunakan bounding box agar lokasi objek dapat dikenali secara akurat oleh sistem.

c. Augmentasi dan Preprocessing

Augmentasi data gambar adalah proses pembuatan sampel baru dari dataset asli dengan menerapkan transformasi acak kecil seperti flipping, cropping, atau rotasi, tanpa mengubah label aslinya.



Gambar 4. Proses Augmentasi

Beberapa teknik augmentasi yang diterapkan meliputi rotasi gambar pada sudut 90, 180, dan 270 derajat, yang membantu model mempelajari objek dari berbagai arah. Selain rotasi, juga digunakan teknik seperti flipping, scaling, cropping, dan penyesuaian pencahayaan untuk menambah jumlah sampel data yang dipakai (Pexels, n.d.). Sementara itu, preprocessing merupakan langkah penting sebelum pelatihan model deteksi objek, yaitu dengan memberikan koordinat titik-titik pada bounding box.

d. Training Model

Pada tahap ini, dilakukan pelatihan model deteksi objek menggunakan algoritma YOLOv8 Nano untuk mengenali tiga fase pertumbuhan jamur tiram, yaitu fase baglog (belum tumbuh jamur), fase jamur muda (jamur mulai muncul), dan fase siap panen. Dataset terdiri dari 2000 gambar jamur tiram yang telah dianotasi menggunakan bounding box dan dibagi menjadi 80% untuk pelatihan, 10% validasi, dan 10% pengujian. Pelatihan model YOLOv8 Nano dilakukan selama 100 epoch dengan ukuran gambar 640×640 piksel, batch size 16–32, dan learning rate awal 0.01 yang menurun secara bertahap. Optimizer yang digunakan adalah Stochastic Gradient Descent (SGD) dengan momentum 0.937 dan weight decay 5×10^{-4} . Tiga epoch awal digunakan sebagai warm-up, dilengkapi dengan augmentasi otomatis (pencahayaan, warna, flipping) agar model lebih adaptif. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik mAP, dan pelatihan dihentikan otomatis jika tidak ada peningkatan performa (early stopping). Konfigurasi ini dirancang untuk menghasilkan model yang akurat dan andal dalam sistem monitoring jamur tiram berbasis AI dan IoT.

e. Evaluasi Model

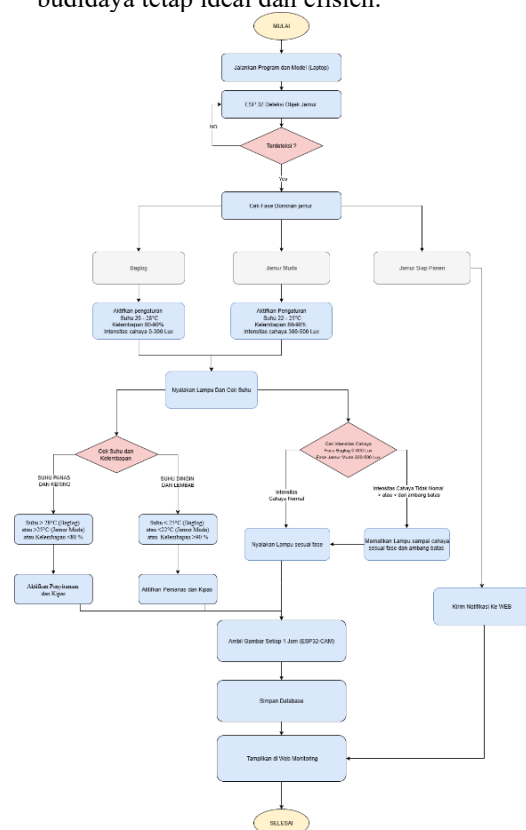
Evaluasi ini bertujuan untuk mengukur seberapa baik model dalam mendeteksi objek

jamur tiram pada gambar baru yang belum pernah dilihat sebelumnya. Beberapa metrik yang umum digunakan dalam evaluasi model deteksi objek meliputi precision, recall, mean Average Precision (mAP), dan loss. Precision mengukur ketepatan model dalam mengidentifikasi objek yang benar dari seluruh hasil deteksi, sedangkan recall mengukur kemampuan model dalam menemukan semua objek yang sebenarnya ada dalam gambar. Mean Average Precision (mAP) digunakan sebagai ukuran gabungan untuk mengevaluasi keseluruhan performa deteksi objek, sementara loss menunjukkan seberapa besar kesalahan yang terjadi selama proses pelatihan dan evaluasi model (Maulana et al., 2023).

2.3 Analisis Kebutuhan

a. Cara kerja Sistem

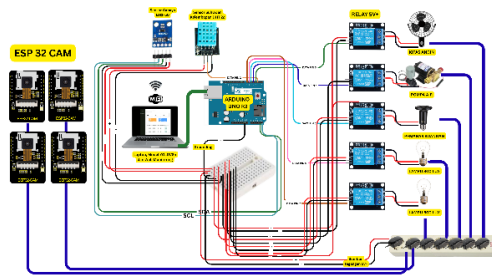
Sistem monitoring jamur tiram ini bekerja otomatis dengan memanfaatkan kamera ESP32-CAM, sensor suhu (DHT22), kelembapan, dan cahaya (BH1750) yang terintegrasi dengan model deteksi YOLOv8 Nano. Kamera mengambil gambar secara berkala, lalu model mendeteksi fase pertumbuhan jamur (baglog, muda, siap panen). Berdasarkan hasil deteksi dan data sensor, sistem secara otomatis mengaktifkan kipas, lampu, pemanas, atau penyiram air sesuai kebutuhan. Proses ini berlangsung real-time tanpa intervensi manual, menjaga kondisi budidaya tetap ideal dan efisien.



Gambar 5. Flowchart cara kerja alat

b. Kebutuhan Perangkat Keras

Sistem monitoring jamur tiram menggunakan beberapa komponen utama, seperti kamera, sensor lingkungan, mikrokontroler, dan aktuator. Semua perangkat ini saling terhubung dan bekerja sesuai fungsinya. Skema perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema Perancangan Alat

Berikut komponen perangkat keras yang dibutuhkan.

Tabel 2. Komponen Perangkat Keras, Fungsi, dan Konektivitas Sistem

Komponen	Fungsi	Spesifikasi Utama
ESP32-CAM	Mengambil gambar jamur setiap 1 jam dan mengirim ke laptop via WiFi	Kamera 2MP OV2640, WiFi 802.11 b/g/n, RAM 520KB, slot microSD, pemrosesan gambar onboard
Sensor DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan ruangan budidaya	Akurasi suhu $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, kelembapan $\pm 2-5\%$, rentang suhu -40 hingga 80°C
Sensor BH1750	Mengukur intensitas cahaya dalam satuan lux	Sensor cahaya digital, rentang pengukuran 1–65535 lux, antarmuka I2C
Arduino UNO R3	Mikrokontroler utama untuk membaca sensor dan mengontrol relay Saklar elektronik	ATmega328P, 14 digital I/O, 6 analog input, USB interface, tegangan operasi 5V
Relay 1 Channel	untuk mengaktifkan atau mematikan perangkat aktuator	Tegangan kerja 5V DC, arus maksimum 10A 250VAC atau 10A 30VDC
Kipas Angin	Menurunkan suhu dan membantu sirkulasi udara jika suhu terlalu tinggi	DC Fan 5V/12V, kecepatan rata-rata 2000 RPM

Pompa Air	Menyemprotkan air untuk meningkatkan kelembapan	Mini submersible, tegangan kerja 5V DC, debit ± 120 L/jam
Pemanas Ruangan	Menaikkan suhu ketika suhu terlalu rendah	Elemen pemanas PTC, tegangan 5V–12V DC
Lampu 300 Lux	Memberikan intensitas cahaya rendah saat fase baglog	LED putih hangat, intensitas ± 300 lux, tegangan 5V
Lampu 500 Lux	Memberikan intensitas cahaya tinggi saat fase jamur muda	LED putih dingin, intensitas ± 500 lux, tegangan 5V
Laptop	Menjalankan model YOLOv8n, sistem logika, dan monitoring web	Intel Core i5, RAM 8GB, OS Windows/Linux, koneksi WiFi dan USB
Breadboard & Power Supply & adaptor 5v 2a	Menyediakan tegangan 5V untuk Arduino dan komponen lainnya	Breadboard mini 830 titik, adaptor 5V 2A, koneksi ke VCC & GND

c. Kebutuhan Perangkat Lunak

Selain perangkat keras, sistem monitoring jamur tiram ini juga memerlukan perangkat lunak yang mendukung proses pengolahan data, komunikasi antar perangkat, serta tampilan antarmuka pengguna. Perangkat lunak yang digunakan terdiri dari berbagai tools dan library yang berfungsi untuk menjalankan model deteksi objek, membaca data sensor, menyimpan data ke database, serta menampilkan informasi melalui website.

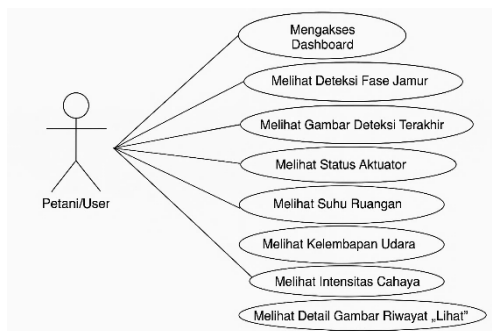
Tabel 3. Kebutuhan Perangkat Lunak

Komponen	Deskripsi Fungsi
Database: MySQL	Menyimpan data hasil monitoring seperti suhu, kelembapan, intensitas cahaya, serta hasil klasifikasi gambar jamur.
Front-End: HTML, CSS, JavaScript	Menyusun tampilan antarmuka pengguna untuk monitoring data secara real-time melalui browser.
Back-End Web: PHP 8.0	Mengelola logika server-side untuk aplikasi web, termasuk komunikasi dengan database dan penyajian data.
Back-End Robotic: Python	Menjalankan sistem logika utama, pemrosesan citra, kontrol aktuator, dan komunikasi dengan sensor.
OpenCV	Mengakses dan memproses gambar dari kamera ESP32-CAM.
Ultralytics (YOLOv8)	Melakukan deteksi objek dan klasifikasi fase jamur (baglog, muda, siap panen).
NumPy	Mendukung perhitungan numerik dan manipulasi array dalam pemrosesan citra.

Threading	Menjalankan proses seperti pembacaan kamera dan sensor secara paralel.
Requests	Mengirim dan menerima data HTTP dari ESP32-CAM dan komunikasi API lainnya.
MySQL.connector	Menghubungkan Python dengan database MySQL.
Serial (pyserial)	Berkomunikasi dengan Arduino melalui port serial.
JSON	Format pertukaran data antara sistem Python, web, dan Arduino.
Flask	Framework Python ringan untuk membangun API dan layanan lokal.
Flask-CORS	Mengizinkan akses lintas domain antara backend Python dan frontend web.

d. Use Case Diagram

Selain itu, terdapat beberapa fitur atau use case yang dapat diakses oleh pengguna melalui dashboard monitoring sistem. Interaksi antara pengguna dan sistem tersebut digambarkan dalam bentuk use case diagram yang dapat dilihat pada gambar di bawah berikut.



Gambar 7. Use Case Diagram

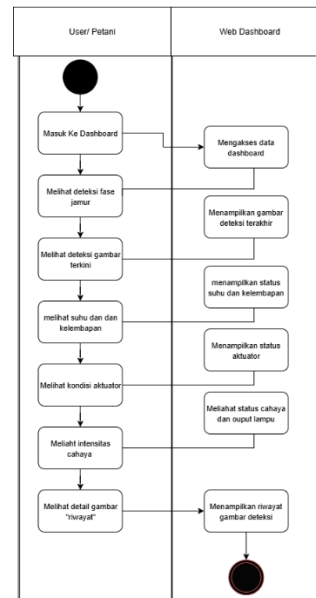
Pada Gambar 7, ditunjukkan bahwa sistem monitoring digunakan untuk memantau pertumbuhan jamur dari fase baglog hingga siap panen melalui dashboard web. Petani dapat melihat hasil deteksi fase jamur, gambar terbaru, suhu, kelembapan, intensitas cahaya, serta status alat seperti pemanas dan lampu. Riwayat gambar juga tersedia, sehingga seluruh proses dapat dipantau secara real-time tanpa harus berada di lokasi.

e. Activity Diagram

Activity Diagram merupakan alur aktivitas yang dilakukan oleh user terhadap sistem yang dibuat. Tujuan dari diagram ini adalah untuk memvisualisasikan hubungan interaktif antara komponen perangkat keras dan antarmuka pengguna, sehingga aliran informasi dan proses monitoring dapat dipahami secara menyeluruh.

Activity diagram tersebut menggambarkan alur interaksi antara pengguna (petani) dengan web dashboard dalam sistem monitoring jamur tiram berbasis IoT dan YOLOv8 Nano. Proses dimulai saat pengguna masuk ke dashboard untuk mengakses data pemantauan yang dikirim oleh perangkat IoT. Setelah login, sistem secara otomatis menampilkan hasil deteksi fase

pertumbuhan jamur berdasarkan citra terbaru dari kamera ESP32-CAM, serta data suhu dan kelembapan yang diukur oleh sensor DHT22 secara real-time. Informasi tersebut membantu pengguna memantau kondisi ruang budidaya tanpa harus melakukan pengamatan manual.



Gambar 8. Activity Diagram

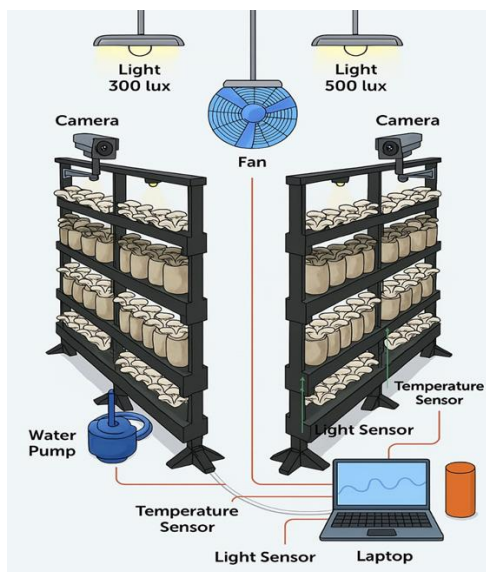
Selanjutnya, pengguna dapat melihat status aktuator seperti kipas, pompa air, dan lampu yang dikendalikan otomatis sesuai kondisi lingkungan. Dashboard juga menampilkan intensitas cahaya dari sensor BH1750 untuk memastikan pencahayaan optimal bagi pertumbuhan jamur. Pada tahap akhir, pengguna dapat membuka riwayat gambar deteksi untuk melihat perkembangan jamur dari waktu ke waktu. Dengan demikian, diagram ini menunjukkan integrasi antara perangkat IoT dan web dashboard yang mempermudah proses pemantauan budidaya jamur tiram secara efisien dan terpusat.

f. Penempatan Alat

Penempatan difokuskan pada area ruang media tanam budidaya jamur tiram, sehingga seluruh komponen dapat terpasang pada posisi yang sesuai, mudah diakses, serta mampu berfungsi secara optimal. Penyesuaian ini bertujuan agar proses pemantauan dan pengendalian lingkungan dapat berjalan efektif tanpa mengganggu aktivitas budidaya.

Gambar 9 menampilkan rancangan penempatan perangkat keras pada sistem monitoring budidaya jamur tiram berbasis IoT. Setiap komponen ditempatkan dengan mempertimbangkan fungsinya dalam mendukung proses pengamatan, pengendalian lingkungan, dan pengambilan data secara

otomatis. Dua kamera diposisikan pada rak budidaya yang berhadapan untuk menangkap citra jamur dari dua sudut pencahayaan berbeda, yakni 300 lux dan 500 lux, yang membantu sistem YOLOv8 Nano dalam mengenali fase pertumbuhan jamur secara lebih akurat di berbagai kondisi pencahayaan. Sensor suhu dan sensor cahaya (DHT22 dan BH1750) ditempatkan di area rak untuk mendeteksi perubahan suhu dan intensitas cahaya di sekitar media tanam secara real-time.



Gambar 9. Rencana Penempatan Alat

Data dari seluruh sensor dikirim ke mikrokontroler dan diteruskan ke laptop yang berfungsi sebagai pusat pemantauan melalui dashboard berbasis web. Kipas angin ditempatkan di bagian tengah untuk menjaga sirkulasi udara dan suhu ruangan tetap stabil, sementara pompa air diletakkan di bagian bawah dekat sumber air untuk mendukung sistem penyiraman otomatis. Penempatan ini memastikan setiap perangkat bekerja secara sinergis, menjaga kestabilan lingkungan budidaya jamur, serta memungkinkan sistem melakukan deteksi dan pengendalian kondisi ruang secara efisien dan terintegrasi.

2.4 Integrasi Sistem

Tahapan integrasi sistem merupakan proses penyatuan antara perangkat keras yang telah dirakit dengan perangkat lunak, termasuk model deteksi objek YOLOv8 Nano dan logika kontrol otomatis yang telah dirancang sebelumnya. Tujuan utama dari tahapan ini adalah memastikan seluruh komponen dapat bekerja secara terkoordinasi dan mendukung sistem monitoring budidaya jamur tiram secara menyeluruh.

Integrasi dilakukan dengan menghubungkan berbagai sensor dan aktuator ke Arduino UNO melalui pin digital yang terhubung ke modul relay 5 channel. Arduino bertugas menerima data suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya, lalu merespons dengan mengaktifkan atau menonaktifkan alat seperti kipas, pemanas, penyemprot air, dan lampu, sesuai kebutuhan lingkungan. Sementara itu, ESP32-CAM mengambil gambar setiap satu jam untuk dikirim ke laptop, di mana model YOLOv8 Nano akan mendeteksi fase dominan jamur (baglog, jamur muda, atau jamur siap panen). Jika gambar menunjukkan jamur siap panen, sistem secara otomatis memberikan notifikasi kepada pengguna. Semua data dan hasil deteksi ditampilkan melalui web monitoring secara real-time, sehingga pengguna dapat mengakses informasi budidaya dari perangkat apa pun.

2.5 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen, baik perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software), dapat bekerja sesuai dengan logika dan fungsinya. Dalam penelitian ini, metode pengujian yang digunakan adalah black-box testing, yaitu dengan memberikan kondisi atau input tertentu kepada sistem, lalu mengamati apakah output atau hasil yang diberikan sesuai dengan yang direncanakan.

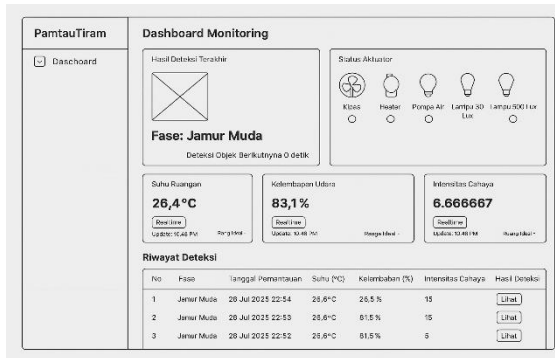
Beberapa fitur utama yang diuji meliputi sistem penyiraman otomatis, pengaturan kipas dan lampu berdasarkan suhu, kelembapan, serta intensitas cahaya sesuai dengan fase pertumbuhan jamur tiram, pembacaan sensor suhu, kelembapan, dan cahaya menggunakan DHT22 dan BH1750, serta pengambilan gambar secara berkala menggunakan ESP32-CAM. Gambar yang diambil setiap satu jam akan diproses oleh model deteksi objek YOLOv8 Nano di laptop untuk mengidentifikasi fase pertumbuhan jamur, seperti baglog, jamur muda, dan jamur siap panen. Berdasarkan hasil deteksi dan data sensor, sistem akan mengontrol aktuator seperti kipas, lampu, dan pompa air secara otomatis. Selain itu, sistem juga diuji untuk memastikan dapat memberikan notifikasi kepada pengguna melalui web monitoring apabila terdeteksi jamur yang sudah siap panen.

2.6 Pengembangan Dashboard Monitoring

Tampilan dashboard dirancang secara sederhana namun informatif agar mudah dipahami, untuk lebih jelasnya, rancangan tampilan awal dashboard ini dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10 menunjukkan dashboard yang dirancang untuk menampilkan jumlah deteksi jamur berdasarkan hasil tangkapan gambar dari kamera ESP32-CAM. Selain itu, ditampilkan pula informasi suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya pada ruang budidaya secara real-time. Sistem juga menunjukkan jumlah jamur yang terdeteksi saat ini, serta pengaturan kondisi suhu, kelembapan, dan cahaya

yang disesuaikan otomatis berdasarkan fase jamur dominan.

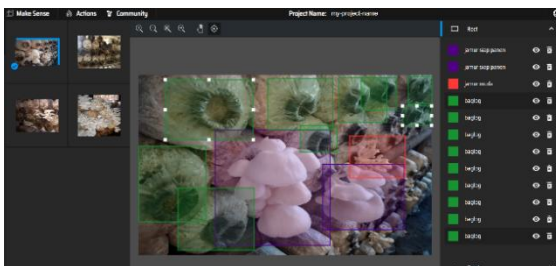


Gambar 10. Wireframe Dashboard Monitoring

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pelatihan Model YOLOv8 Nano

Tahapan awal dalam pengembangan sistem adalah pelatihan model YOLOv8 Nano untuk mendeteksi fase pertumbuhan jamur tiram. Proses ini diawali dengan anotasi atau pelabelan gambar menggunakan platform MakeSense.ai.



Gambar 11. Proses Anotasi Dataset

Dataset terdiri dari 2000 gambar yang mencakup tiga fase jamur baglog, jamur muda, dan siap panen serta kelas negatif (gambar tanpa objek jamur). Setiap objek diberi bounding box dan label sesuai kelasnya. Setelah anotasi selesai, dataset dibagi menjadi 80% untuk pelatihan, 10% validasi, dan 10% pengujian. Seluruh data kemudian diekspor ke format YOLO yang berisi file teks (.txt) dengan koordinat bounding box dan kelas, serta gambar (.jpg/.png).

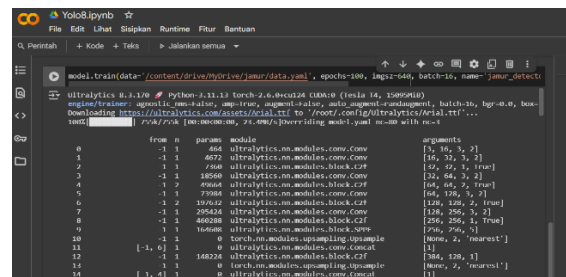
File	Size	Type
baglog_001	20,07 KB	Text Document
baglog_002	20,07 KB	Text Document
baglog_003	20,07 KB	Text Document
baglog_004	20,07 KB	Text Document
baglog_005	20,07 KB	Text Document
baglog_006	20,07 KB	Text Document
baglog_007	20,07 KB	Text Document
baglog_008	20,07 KB	Text Document
baglog_009	20,07 KB	Text Document
baglog_010	20,07 KB	Text Document
baglog_011	20,07 KB	Text Document
baglog_012	20,07 KB	Text Document
baglog_013	20,07 KB	Text Document
baglog_014	20,07 KB	Text Document
baglog_015	20,07 KB	Text Document
baglog_016	20,07 KB	Text Document
baglog_017	20,07 KB	Text Document
baglog_018	20,07 KB	Text Document
baglog_019	20,07 KB	Text Document
baglog_020	20,07 KB	Text Document
baglog_021	20,07 KB	Text Document
baglog_022	20,07 KB	Text Document
baglog_023	20,07 KB	Text Document
baglog_024	20,07 KB	Text Document
baglog_025	20,07 KB	Text Document
baglog_026	20,07 KB	Text Document
baglog_027	20,07 KB	Text Document
baglog_028	20,07 KB	Text Document
baglog_029	20,07 KB	Text Document
baglog_030	20,07 KB	Text Document
baglog_031	20,07 KB	Text Document
baglog_032	20,07 KB	Text Document
baglog_033	20,07 KB	Text Document
baglog_034	20,07 KB	Text Document
baglog_035	20,07 KB	Text Document
baglog_036	20,07 KB	Text Document
baglog_037	20,07 KB	Text Document
baglog_038	20,07 KB	Text Document
baglog_039	20,07 KB	Text Document
baglog_040	20,07 KB	Text Document
baglog_041	20,07 KB	Text Document
baglog_042	20,07 KB	Text Document
baglog_043	20,07 KB	Text Document
baglog_044	20,07 KB	Text Document
baglog_045	20,07 KB	Text Document
baglog_046	20,07 KB	Text Document
baglog_047	20,07 KB	Text Document
baglog_048	20,07 KB	Text Document
baglog_049	20,07 KB	Text Document
baglog_050	20,07 KB	Text Document
baglog_051	20,07 KB	Text Document
baglog_052	20,07 KB	Text Document
baglog_053	20,07 KB	Text Document
baglog_054	20,07 KB	Text Document
baglog_055	20,07 KB	Text Document
baglog_056	20,07 KB	Text Document
baglog_057	20,07 KB	Text Document
baglog_058	20,07 KB	Text Document
baglog_059	20,07 KB	Text Document
baglog_060	20,07 KB	Text Document
baglog_061	20,07 KB	Text Document
baglog_062	20,07 KB	Text Document
baglog_063	20,07 KB	Text Document
baglog_064	20,07 KB	Text Document
baglog_065	20,07 KB	Text Document
baglog_066	20,07 KB	Text Document
baglog_067	20,07 KB	Text Document
baglog_068	20,07 KB	Text Document
baglog_069	20,07 KB	Text Document
baglog_070	20,07 KB	Text Document
baglog_071	20,07 KB	Text Document
baglog_072	20,07 KB	Text Document
baglog_073	20,07 KB	Text Document
baglog_074	20,07 KB	Text Document
baglog_075	20,07 KB	Text Document
baglog_076	20,07 KB	Text Document
baglog_077	20,07 KB	Text Document
baglog_078	20,07 KB	Text Document
baglog_079	20,07 KB	Text Document
baglog_080	20,07 KB	Text Document
baglog_081	20,07 KB	Text Document
baglog_082	20,07 KB	Text Document
baglog_083	20,07 KB	Text Document
baglog_084	20,07 KB	Text Document
baglog_085	20,07 KB	Text Document
baglog_086	20,07 KB	Text Document
baglog_087	20,07 KB	Text Document
baglog_088	20,07 KB	Text Document
baglog_089	20,07 KB	Text Document
baglog_090	20,07 KB	Text Document
baglog_091	20,07 KB	Text Document
baglog_092	20,07 KB	Text Document
baglog_093	20,07 KB	Text Document
baglog_094	20,07 KB	Text Document
baglog_095	20,07 KB	Text Document
baglog_096	20,07 KB	Text Document
baglog_097	20,07 KB	Text Document
baglog_098	20,07 KB	Text Document
baglog_099	20,07 KB	Text Document
baglog_100	20,07 KB	Text Document
baglog_101	20,07 KB	Text Document
baglog_102	20,07 KB	Text Document
baglog_103	20,07 KB	Text Document
baglog_104	20,07 KB	Text Document
baglog_105	20,07 KB	Text Document
baglog_106	20,07 KB	Text Document
baglog_107	20,07 KB	Text Document
baglog_108	20,07 KB	Text Document
baglog_109	20,07 KB	Text Document
baglog_110	20,07 KB	Text Document
baglog_111	20,07 KB	Text Document
baglog_112	20,07 KB	Text Document
baglog_113	20,07 KB	Text Document
baglog_114	20,07 KB	Text Document
baglog_115	20,07 KB	Text Document
baglog_116	20,07 KB	Text Document
baglog_117	20,07 KB	Text Document
baglog_118	20,07 KB	Text Document
baglog_119	20,07 KB	Text Document
baglog_120	20,07 KB	Text Document
baglog_121	20,07 KB	Text Document
baglog_122	20,07 KB	Text Document
baglog_123	20,07 KB	Text Document
baglog_124	20,07 KB	Text Document
baglog_125	20,07 KB	Text Document
baglog_126	20,07 KB	Text Document
baglog_127	20,07 KB	Text Document
baglog_128	20,07 KB	Text Document
baglog_129	20,07 KB	Text Document
baglog_130	20,07 KB	Text Document
baglog_131	20,07 KB	Text Document
baglog_132	20,07 KB	Text Document
baglog_133	20,07 KB	Text Document
baglog_134	20,07 KB	Text Document
baglog_135	20,07 KB	Text Document
baglog_136	20,07 KB	Text Document
baglog_137	20,07 KB	Text Document
baglog_138	20,07 KB	Text Document
baglog_139	20,07 KB	Text Document
baglog_140	20,07 KB	Text Document
baglog_141	20,07 KB	Text Document
baglog_142	20,07 KB	Text Document
baglog_143	20,07 KB	Text Document
baglog_144	20,07 KB	Text Document
baglog_145	20,07 KB	Text Document
baglog_146	20,07 KB	Text Document
baglog_147	20,07 KB	Text Document
baglog_148	20,07 KB	Text Document
baglog_149	20,07 KB	Text Document
baglog_150	20,07 KB	Text Document
baglog_151	20,07 KB	Text Document
baglog_152	20,07 KB	Text Document
baglog_153	20,07 KB	Text Document
baglog_154	20,07 KB	Text Document
baglog_155	20,07 KB	Text Document
baglog_156	20,07 KB	Text Document
baglog_157	20,07 KB	Text Document
baglog_158	20,07 KB	Text Document
baglog_159	20,07 KB	Text Document
baglog_160	20,07 KB	Text Document
baglog_161	20,07 KB	Text Document
baglog_162	20,07 KB	Text Document
baglog_163	20,07 KB	Text Document
baglog_164	20,07 KB	Text Document
baglog_165	20,07 KB	Text Document
baglog_166	20,07 KB	Text Document
baglog_167	20,07 KB	Text Document
baglog_168	20,07 KB	Text Document
baglog_169	20,07 KB	Text Document
baglog_170	20,07 KB	Text Document
baglog_171	20,07 KB	Text Document
baglog_172	20,07 KB	Text Document
baglog_173	20,07 KB	Text Document
baglog_174	20,07 KB	Text Document
baglog_175	20,07 KB	Text Document
baglog_176	20,07 KB	Text Document
baglog_177	20,07 KB	Text Document
baglog_178	20,07 KB	Text Document
baglog_179	20,07 KB	Text Document
baglog_180	20,07 KB	Text Document
baglog_181	20,07 KB	Text Document
baglog_182	20,07 KB	Text Document
baglog_183	20,07 KB	Text Document
baglog_184	20,07 KB	Text Document
baglog_185	20,07 KB	Text Document
baglog_186	20,07 KB	Text Document
baglog_187	20,07 KB	Text Document
baglog_188	20,07 KB	Text Document
baglog_189	20,07 KB	Text Document
baglog_190	20,07 KB	Text Document
baglog_191	20,07 KB	Text Document
baglog_192	20,07 KB	Text Document
baglog_193	20,07 KB	Text Document
baglog_194	20,07 KB	Text Document
baglog_195	20,07 KB	Text Document
baglog_196	20,07 KB	Text Document
baglog_197	20,07 KB	Text Document
baglog_198	20,07 KB	Text Document
baglog_199	20,07 KB	Text Document
baglog_200	20,07 KB	Text Document

Gambar 12. Hasil ekspor labeling dataset

Setelah ekspor, setiap gambar memiliki file label yang berisi posisi dan ukuran objek dalam persentase dari dimensi gambar. Contohnya, data "0 0.328434 0.579403 0.208021 0.124214" menunjukkan label kelas 0 (misalnya baglog), dengan titik tengah kotak

di 32,8% lebar dan 57,9% tinggi gambar, serta ukuran kotak sekitar 20% lebar dan 12% tinggi gambar. Data ini digunakan untuk melatih YOLOv8 Nano agar mampu mengenali perbedaan antar fase pertumbuhan jamur secara akurat.

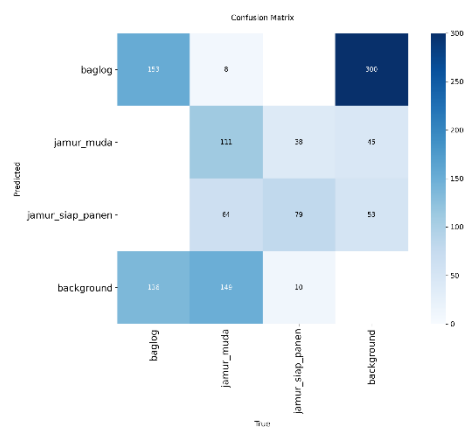
Setelah proses anotasi selesai dan dataset siap digunakan, selanjutnya melatih model YOLOv8 Nano menggunakan layanan cloud Google Colaboratory (Colab) yang menyediakan akses GPU gratis. Dalam proses ini digunakan GPU Tesla T4 yang mampu mempercepat pelatihan model secara signifikan. Dataset yang telah diekspor dalam format YOLO diunggah ke Colab dan disusun dalam struktur folder yang sesuai, yaitu folder images dan labels yang masing-masing berisi data untuk training, validation, dan testing. Berikut proses pelatihan dapat dilihat pada Gambar 13 dibawah.



Gambar 13. Proses Pelatihan Model YOLOv8 Nano

Pelatihan dilakukan selama 100 epoch, sesuai rencana awal. Setelah selesai, model yang telah dilatih disimpan dalam format .pt (PyTorch model) dan siap digunakan untuk mendeteksi fase pertumbuhan jamur tiram secara otomatis melalui kamera ESP32-CAM dalam sistem monitoring.

Setelah proses pelatihan selesai, tahap berikutnya adalah mengevaluasi performa model YOLOv8 Nano untuk mendeteksi tiga fase pertumbuhan jamur tiram yaitu baglog, jamur muda, dan jamur siap panen. Evaluasi dilakukan menggunakan metrik seperti mean Average Precision (mAP), precision, recall, F1-score, serta kurva Precision-Recall (PR Curve).



Gambar 14. Confusion Matrix

Hasil dari gambar confusion matrix di atas memperlihatkan bahwa model mampu mengenali sebagian besar objek dengan benar, seperti 153 gambar baglog yang terdeteksi akurat, meskipun

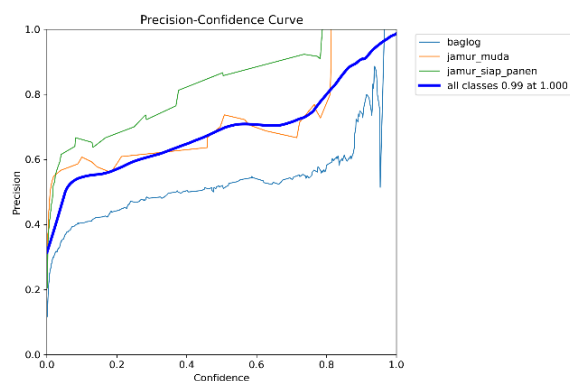
masih terjadi kesalahan klasifikasi misalnya, 300 gambar baglog salah dikenali sebagai background. Kesalahan serupa terjadi pada kelas jamur muda dan siap panen yang sering tertukar atau dikenali sebagai latar belakang, terutama saat kontras visual rendah atau posisi objek kurang jelas. Meskipun demikian, model tetap menunjukkan performa yang menjanjikan dan cukup andal dalam mendeteksi objek jamur di berbagai kondisi nyata, seperti pencahayaan alami yang berubah-ubah dan posisi jamur yang saling berdekatan. Hasil ini membuktikan bahwa model layak digunakan dalam sistem monitoring pertumbuhan jamur tiram secara otomatis dan real-time.

Tabel 4. Hasil Performa Model YOLOv8 Nano

	Baglog	Jamur Muda	Jamur Siap Panen	Rata-rata
<i>Precision</i>	0.46	0.72	0.88	0.69
<i>Recall</i>	0.76	0.73	0.86	0.78
<i>mAP@0.5</i>	0.49	0.78	0.87	0.71
<i>mAP@0.5:0.95</i>	0.26	0.50	0.64	0.47

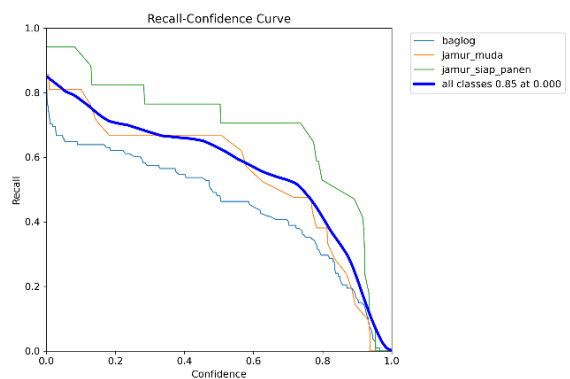
Tabel 4 menunjukkan performa model YOLOv8 Nano dalam mendeteksi tiga fase jamur tiram: baglog, jamur muda, dan jamur siap panen. Untuk kelas baglog, nilai precision berada pada angka 0.46, yang berarti cukup banyak prediksi salah (false positive) terjadi pada kelas ini. Namun, nilai recall yang tinggi sebesar 0.76 menunjukkan bahwa model masih mampu mendeteksi sebagian besar objek baglog yang sebenarnya ada dalam gambar. Nilai $mAP@0.5$ sebesar 0.49 dan $mAP@0.5:0.95$ sebesar 0.26 menunjukkan bahwa meskipun model dapat mengenali objek, tingkat presisi prediksinya belum maksimal dibanding dua kelas lainnya. Kondisi pencahayaan sangat memengaruhi hasil ini, pencahayaan yang baik meningkatkan akurasi deteksi (Bhargava & Chakraborty, 2022), sedangkan pencahayaan buruk atau kontras ekstrem dapat menurunkan recall dan precision karena bayangan atau pantulan cahaya pada permukaan baglog dapat disalahartikan sebagai objek. Pada kelas jamur muda, performa model meningkat secara signifikan dengan nilai precision sebesar 0.72 dan recall sebesar 0.73, yang menunjukkan keseimbangan antara akurasi dan kelengkapan dalam deteksi. Nilai $mAP@0.5$ yang mencapai 0.78 dan $mAP@0.5:0.95$ sebesar 0.50 menandakan bahwa model sangat mampu mendeteksi objek jamur muda secara andal dengan kualitas prediksi yang baik di berbagai ambang batas IoU. Sementara itu, kelas jamur siap panen menunjukkan performa terbaik di antara ketiganya. Dengan precision sebesar 0.88 dan recall sebesar 0.86, model menunjukkan kemampuan yang sangat tinggi dalam mendeteksi objek secara akurat dan lengkap. Nilai $mAP@0.5$ sebesar 0.87 dan $mAP@0.5:0.95$ sebesar 0.64 mengindikasikan bahwa model dapat mengenali fase jamur ini dengan sangat baik, bahkan pada berbagai tingkat overlap antara prediksi dan ground truth. Secara keseluruhan, nilai rata-rata dari ketiga

kelas memberikan gambaran yang cukup memuaskan, dengan precision sebesar 0.69, recall sebesar 0.78, $mAP@0.5$ sebesar 0.71, dan $mAP@0.5:0.95$ sebesar 0.47. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa model YOLOv8 Nano yang telah dilatih memiliki performa yang cukup baik dan layak digunakan dalam sistem monitoring otomatis untuk mendeteksi fase perkembangan jamur tiram secara real-time. Keakuratan yang tinggi pada kelas jamur muda dan siap panen juga menunjukkan bahwa model ini sangat potensial untuk diaplikasikan langsung di lingkungan budidaya jamur. Untuk menggambarkan lebih jauh performa model, dilakukan pula visualisasi dalam bentuk grafik.



Gambar 15. Grafik Nilai Precision

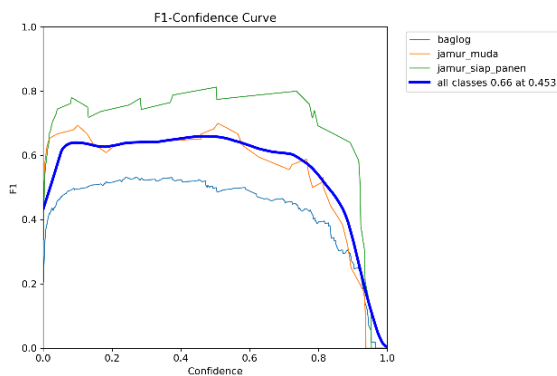
Gambar 15 menunjukkan grafik Precision-Confidence Curve hasil pelatihan YOLOv8 Nano selama 100 epoch, yang menggambarkan hubungan confidence dengan precision. Garis biru tebal (all classes) mencapai precision 0,99 saat confidence 1,00, menandakan prediksi sangat akurat saat model yakin. Kelas jamur siap panen (garis hijau) memiliki precision stabil mendekati 0,9 bahkan pada confidence rendah, sementara kelas jamur muda (oranye) precision-nya cukup baik namun fluktuatif, dan kelas baglog (biru muda) precision-nya terendah, di bawah 0,7. Kurva yang stabil menunjukkan pelatihan berjalan baik tanpa overfitting.



Gambar 16. Grafik Nilai Recall

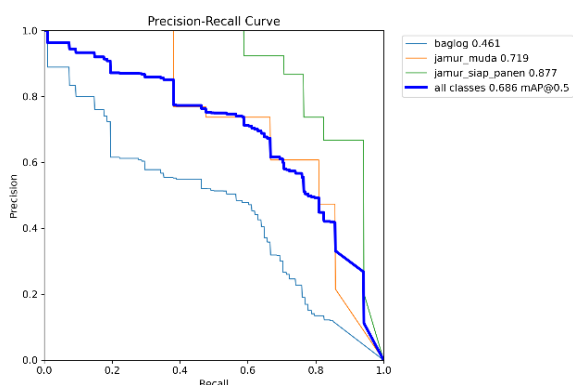
Pada Gambar 16 menunjukkan grafik Recall-Confidence Curve hasil pelatihan YOLOv8 Nano selama 100 epoch. Grafik ini memperlihatkan bahwa saat confidence rendah, model mendeteksi lebih

banyak objek (recall tinggi), tetapi seiring naiknya confidence, recall justru menurun. Kelas jamur siap panen memiliki performa terbaik dengan recall stabil di atas 0,8, sementara jamur muda cukup baik dan baglog paling rendah serta tidak stabil. Artinya, model lebih sensitif mendeteksi jamur siap panen dibanding fase lainnya. Recall tinggi penting agar model tidak melewatkan objek yang ada, terutama untuk keputusan panen atau pengaturan lingkungan. Selain itu, grafik F1-score juga menunjukkan bahwa model cukup seimbang antara akurasi (precision) dan kelengkapan deteksi (recall), sehingga kinerjanya tetap stabil.



Gambar 17. Grafik Nilai *F1-Score*

Gambar 17 di atas menunjukkan grafik F1-Confidence Curve yang menggambarkan hubungan antara confidence dan F1-score, yaitu gabungan dari precision dan recall. Garis biru tebal mewakili rata-rata F1 semua kelas, dengan nilai tertinggi 0,66 pada confidence 0,453 menandakan titik terbaik keseimbangan akurasi dan kelengkapan deteksi. Kelas jamur siap panen memiliki F1-score tertinggi dan paling stabil, disusul jamur muda, lalu baglog yang paling rendah. Ini menunjukkan model paling andal mendeteksi jamur siap panen. Grafik ini membuktikan bahwa model bekerja cukup seimbang dan akurat, penting untuk pemantauan pertumbuhan jamur. Selain itu, grafik Precision-Recall (PR) Curve menunjukkan bahwa model mendeteksi jamur muda dan siap panen dengan baik, meski performa pada baglog sedikit lebih rendah namun tetap dapat digunakan dalam sistem monitoring.



Gambar 18. Grafik nilai Precision Recall

Gambar 18 menunjukkan grafik Precision-Recall Curve yang menggambarkan hubungan antara akurasi (precision) dan kemampuan model mendeteksi objek (recall) untuk setiap kelas: baglog, jamur muda, dan jamur siap panen. Grafik ini menunjukkan bahwa kelas jamur siap panen memiliki performa terbaik karena kurvanya mendekati sudut kanan atas, diikuti oleh jamur muda yang juga cukup stabil. Sementara itu, kelas baglog memiliki nilai precision dan recall lebih rendah, kemungkinan karena kemiripan visual dengan latar belakang. Meskipun begitu, nilai rata-rata mAP@0.5 sebesar 0,686 menunjukkan bahwa model cukup akurat dan dapat diandalkan untuk digunakan dalam sistem monitoring jamur tiram secara otomatis. Grafik ini menegaskan bahwa model sudah layak diterapkan untuk pemantauan pertumbuhan jamur di dunia nyata.

Setelah pelatihan dan pengujian selesai, hasil visualisasi deteksi objek ditampilkan untuk menunjukkan bagaimana model YOLOv8 Nano mengenali dan mengklasifikasikan jamur dalam gambar uji. Setiap objek yang terdeteksi diberi bounding box berwarna, label kelas (baglog, jamur muda, atau siap panen), dan nilai confidence. Warna kotak dibedakan berdasarkan kelas untuk memudahkan identifikasi visual. Lihat Gambar 19 untuk detailnya.



Gambar 19. Hasil Deteksi Objek Jamur

Gambar 19 menunjukkan hasil deteksi jamur tiram oleh model YOLOv8 Nano. Setiap objek diberi kotak warna sesuai kelasnya, seperti baglog, jamur muda, dan siap panen, lengkap dengan nilai confidence. Di sisi kiri, model berhasil mendeteksi jamur muda dan siap panen dengan tingkat keyakinan tinggi. Di sisi kanan, banyak baglog terdeteksi dengan konsisten. Hasil ini membuktikan bahwa model mampu mengenali fase jamur secara akurat dan bisa digunakan dalam sistem monitoring otomatis.

3.2 Pembuatan Prototipe Sistem IoT Monitoring perkembangan jamur

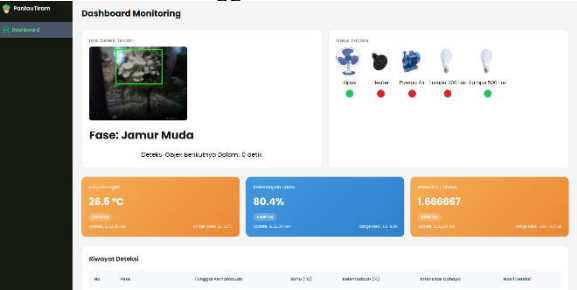
Tahap implementasi sistem IoT difokuskan untuk memantau kondisi lingkungan budidaya jamur tiram secara real-time. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, serta BH1750 untuk cahaya. Data dikirim ke laptop melalui koneksi serial dan diproses dengan Python, lalu ditampilkan dan disimpan ke MySQL. Sistem juga mengontrol kipas dan lampu secara otomatis berdasarkan ambang batas, misalnya kipas aktif saat suhu tinggi dan lampu menyala jika

cahaya kurang. Prototipe alat dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Implementasi Prototye alat monitoring perkembangan jamur

Gambar 20 menunjukkan prototipe alat yang sudah dilengkapi sensor, aktuator, dan kamera ESP32-CAM. Kamera ini terhubung ke sistem Python untuk mendeteksi fase pertumbuhan jamur secara otomatis menggunakan model YOLOv8 Nano.



Gambar 21. Web Dashboard Monitoring

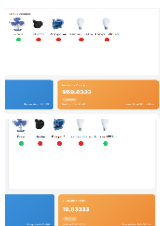
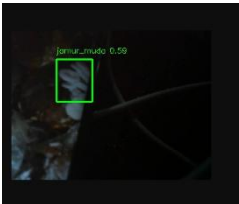
Gambar 21 menampilkan dashboard sistem yang menyajikan data suhu, kelembapan, cahaya, status aktuator, dan hasil deteksi kamera secara real-time, serta menyimpannya ke database MySQL. Setelah sistem berhasil dibuat, alat dirakit dan dipasang di area budidaya jamur tiram dengan penempatan strategis agar pemantauan dan pengendalian lingkungan berjalan optimal tanpa mengganggu proses budidaya, seperti ditunjukkan pada Gambar 22 di bawah ini.

3.3 Pengujian Integrasi Model YOLOv8, IoT dan Sistem Monitoring

Tahap akhir pengembangan alat monitoring jamur tiram dilakukan dengan pengujian menyeluruh terhadap semua komponen sistem, termasuk kamera ESP32-CAM, sensor DHT22 dan BH1750, model YOLOv8 Nano, aktuator, dan dashboard web. Pengujian dilakukan secara real-time, di mana kamera mengambil gambar secara berkala, sensor membaca kondisi lingkungan, dan sistem menampilkan serta merespons data tersebut melalui dashboard. Pengujian dilakukan dengan metode blackbox untuk memastikan tiap fitur berfungsi sesuai harapan (Abdillah et al., 2023). Hasilnya ditampilkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil pengujian fungsionalitas alat

No	Fitur yang Diuji	Kondisi Uji / Input	Output yang Diharapkan	Hasil Uji	Bukti Gambar
1	Pengambilan gambar otomatis	Waktu mencapai 1 jam	Kamera mengambil gambar dan kirim ke sistem	Berhasil	
2	Deteksi fase jamur	Gambar berisi jamur muda	Sistem deteksi “jamur muda”	Berhasil	
3	Tidak ada objek jamur	Gambar kosong / gelap / buram	Sistem tidak memproses lebih lanjut dan masih menjalankan fase terakhir	Berhasil	
4	Atur kondisi fase baglog	Fase terdeteksi: baglog	Suhu: 25–28°C, RH: 80–90%, cahaya max 300 lux	Berhasil	

5	Atur kondisi fase jamur muda	Fase terdeteksi: jamur muda	Suhu: 22–25°C, RH: 80–90%, cahaya max 500 lux	Berhasil	
6	Suhu panas & RH rendah	DHT22: suhu > batas, RH < batas	Kipas & penyiraman aktif	Berhasil	
7	Suhu dingin & RH tinggi	DHT22: suhu < batas, RH > batas	Pemanas & kipas aktif	Berhasil	
8	Cahaya tidak sesuai fase	BH1750 baca terlalu terang/gelap	Lampu mati, tunggu ambang, hidup kembali	Berhasil	Lampu Mati karena Cahaya lebih dari ambang batas Nyala kembali saat kondisi Cahaya normal 
9	Deteksi jamur siap panen	Gambar jamur siap panen	Kirim notifikasi ke web	Berhasil	
10	Penyimpanan data	Gambar dan data tersedia	Simpan ke database dan tampilkan	Berhasil	

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 10 fitur utama menggunakan metode Blackbox Testing, dapat disimpulkan bahwa seluruh sistem telah berjalan dengan baik dan sesuai fungsinya. Semua komponen, mulai dari sensor, kamera, hingga model deteksi AI dan aktuator, dapat bekerja secara otomatis dan real-time. Sistem mampu mendeteksi fase jamur,

mengatur kondisi lingkungan, serta menampilkan dan menyimpan data dengan baik. Meskipun masih dalam bentuk prototipe, sistem ini sudah terbukti stabil dan akurat, serta memiliki potensi untuk diterapkan dalam budidaya jamur tiram secara otomatis dan efisien di masa depan.

Tabel 6. Hasil Testing Suhu, Kelembapan dan Cahaya

No	Waktu (Jam)	Fase Jamur	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Cahaya (lux)	Aksi Sistem	Keterangan
1	07:00	Baglog	26.5	88	280	Normal	Kondisi sesuai standar fase baglog
2	08:00	Baglog	27.0	85	310	Lampu dimatikan	Cahaya melebihi 300 lux
3	09:00	Baglog	25.8	82	290	Normal	Kondisi stabil
4	10:00	Jamur Muda	23.5	87	420	Normal	Fase berganti, kondisi sesuai
5	11:00	Jamur Muda	24.2	83	510	Lampu dimatikan	Cahaya melebihi batas 500 lux
6	12:00	Jamur Muda	25.5	78	450	Kipas & penyiraman aktif	Kelembapan rendah
7	13:00	Jamur Muda	22.8	90	390	Normal	Kondisi ideal
8	14:00	Jamur Siap Panen	24.0	84	480	Notifikasi panen dikirim	Jamur siap panen
9	15:00	Baglog (batch baru)	26.0	88	270	Normal	Siklus baru dimulai
10	16:00	Baglog	27.3	80	290	Kipas aktif	Suhu tinggi mendekati batas

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor dan kamera bisa membaca kondisi lingkungan dan mengirim datanya secara langsung (real-time). Model deteksi AI (YOLOv8) mampu mengenali fase jamur dengan tepat. Sistem otomatis dapat mengontrol kipas, lampu, dan penyiraman berdasarkan kondisi yang terdeteksi. Data yang terekam berhasil disimpan dan ditampilkan dalam tampilan monitoring. Walaupun sistem ini masih berupa prototipe dan belum digunakan di lapangan sebenarnya, namun dari hasil pengujian terlihat bahwa sistem ini sudah cukup stabil dan akurat. Sistem ini juga memiliki potensi besar untuk dikembangkan lebih lanjut dan digunakan dalam budidaya jamur tiram skala lebih luas secara otomatis dan efisien.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring pertumbuhan jamur tiram berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) sebagai solusi otomatisasi budidaya yang sebelumnya dilakukan secara manual. Sistem menggunakan model YOLOv8 Nano yang dilatih dengan 2000 gambar dan mampu mendeteksi tiga fase pertumbuhan jamur, yaitu baglog, jamur muda, dan siap panen, dengan nilai precision 0,69, recall 0,78, dan mAP@0.5 sebesar 0,71. Sistem IoT yang dibangun menggunakan sensor DHT22 dan BH1750 serta dikendalikan oleh Arduino Uno R3 mampu memantau suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara real-time. Seluruh data lingkungan tersebut digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis, sehingga sistem ini efektif mendukung budidaya jamur secara cerdas dan efisien.

Berdasarkan hasil deteksi visual dari model YOLOv8 Nano, sistem secara otomatis mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator seperti kipas angin, pemanas ruangan, pompa air, serta dua jenis lampu pencahayaan sesuai dengan kebutuhan fase dominan jamur yang terdeteksi. Prototipe sistem ini juga dilengkapi dengan interface web real-time yang menampilkan data suhu, kelembapan, intensitas cahaya, serta hasil deteksi gambar, sehingga pengguna dapat memantau perkembangan jamur dari jarak jauh tanpa harus hadir langsung di lokasi budidaya. Pengujian integrasi menunjukkan bahwa seluruh fitur berjalan sesuai dengan skenario yang dirancang, mulai dari deteksi visual, pemantauan kondisi lingkungan, pengendalian perangkat otomatis, hingga visualisasi data pada dashboard web. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan dalam penelitian ini telah mampu menjawab seluruh rumusan masalah dan memenuhi tujuan penelitian, sekaligus menjadi solusi alternatif yang efisien dan modern dalam mendukung produktivitas petani jamur tiram secara berkelanjutan.

Daftar Pustaka:

- Abdillah, M. T., Kurniastuti, I., Susanto, A., Yudianto, F., Studi, P., Informasi, S., Bisnis, E., & Digital, D. T. (2023). Implementasi Black box Testing dan Usability Testing pada Website Sekolah MI Miftahul Ulum Warugunung Surabaya. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Desain Komunikasi Visual*, 8(1), 234–242.
- Agustini, Grashinta, A., Putra, S., & Sukarman. (2023). *Metode Penelitian Kualitatif* (Vol. 1).
- Astuti, W. (2024). Kontribusi Sektor Pertanian Padi Dalam Upaya Meningkatkan Perekonomian Masyarakat Desa Lonam Kecamatan Pemangkat Dalam Perspektif Ekonomi Islam. *Lunggi Journal: Literasi Unggulan Ilmiah*, 2(4), 590–600.
- Ayu Syahfitri. (2025). Internet of Things (IoT), Sejarah, Teknologi, dan Penerapannya. *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, 3(1), 113–120. <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i1.667>
- Bhargava, S., & Chakraborty, P. (2022). *Thermal infrared image based vehicle detection in low-level illumination conditions using multi-level GANs*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.09808>
- BPS. (2024, June 10). *Produksi Tanaman Sayuran, 2023*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjEjMg==/produksi-tanaman-sayuran.html>
- Faturachman, I., & Kusumawati, R. (2024). Usaha Budidaya Jamur Tiram. *Jurnal Ikraith-Ekonomika*, 7(3). <https://doi.org/10.37817/IKRAITH-EKONOMIKA>
- Irfan, A. A. F. N. (2024, October 1). *Produksi Jamur Indonesia Didominasi Jawa*. GoodStats. <https://data.goodstats.id/statistic/produksi-jamur-indonesia-didominasi-jawa-M7ZHT>
- Khan, Z., Shen, Y., & Liu, H. (2025). ObjectDetection in Agriculture: A Comprehensive Review of Methods, Applications, Challenges, and Future Directions. *Agriculture (Switzerland)*, 15(13), 1–36. <https://doi.org/10.3390/agriculture15131351>
- Laia, K., Septianti Laoli, E., Harefa, Y., & Adilman Telaumbanua, W. (2025). ANALISIS Perkembangan Usaha Mikro Budidaya Jamur Tiram Terhadap Kesejahteraan Pengusaha Budidaya Jamur Tiram Di Desa Tuhemberua Kecamatan Lolomatua Tahun 2025. *NIAGAWAN*, 14(2).
- makesense.ai*. (n.d.). Retrieved August 3, 2025, from <https://www.makesense.ai/>

- Maulana, I., Rahaningsih, N., & Suprapti, T. (2023). Analisis Penggunaan Model YOLOv8 (You Only Look Once) Terhadap Deteksi Citra Senjata Berbahaya. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 7(6), 3621–3627.
- Miller, T., Mikiciuk, G., Durlík, I., Mikiciuk, M., Łobodzińska, A., & Śnieg, M. (2025). The IoT and AI in Agriculture: The Time Is Now—A Systematic Review of Smart Sensing Technologies. *Sensors*, 25(12), 1–32. <https://doi.org/10.3390/s25123583>
- Nurlatifa, Nurhaeni, Hidayat, A., & Prasetya, M. R. A. (2024). Metode Convolutional Neural Network (CNN) Untuk Klasifikasi Tingkat Kesehatan Tanaman Lidah Buaya Berbasis Web. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 11(4), 392–406.
- Okano, M. T., Lopes, W. A. C., Ruggero, S. M., Vendrametto, O., & Fernandes, J. C. L. (2025). Edge AI for Industrial Visual Inspection: YOLOv8-Based Visual Conformity Detection Using Raspberry Pi. *Algorithms*, 18(8), 1. <https://doi.org/10.3390/a18080510>
- Pexels. (n.d.). Pexels.Com. Retrieved August 3, 2025, from <https://www.pexels.com/id-id/pencarian/jamur%20tiram/>