

## Pengenalan Kualitas Tempe Berbasis YOLOv8 untuk Deteksi Dini Kegagalan Fermentasi

Isa Mahfudi<sup>a,1,\*</sup>, Mila Kusumawardani<sup>a,2</sup>, Moechammad Sarosa<sup>a,3</sup>, Chandrasena Setiadi<sup>a,4</sup>, Galih Putra Riatma<sup>a,5</sup>, Farida Arinie Soelistianto<sup>a,6</sup>, Nabila Izzatul Muslimah<sup>a,7</sup>, Nadia Yumni Izati<sup>a,8</sup>

<sup>a</sup>Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Indonesia

<sup>1</sup> isa\_mahfudi@polinema.ac.id\*; <sup>2</sup> mila.kusumawardani@polinema.ac.id; <sup>3</sup> msarosa@polinema.ac.id;

<sup>4</sup> chandrasenasetiadi@polinema.ac.id; <sup>5</sup> griatma @polinema.ac.id; <sup>6</sup> farida.arinie@polinema.ac.id;

<sup>7</sup> nabilaizzatul30@gmail.com; <sup>8</sup> ndya.iza@gmail.com

\* Penulis Koresponden

### INFO ARTIKEL

#### Histori Artikel

Pengajuan 2025-08-26

Diperbaiki 2025-10-20

Diterima 2025-12-01

#### Kata Kunci

Deep Learning,  
Deteksi Kualitas,  
Fermentasi,  
Tempe,  
YOLOv8

### ABSTRAK

Tempe merupakan makanan tradisional Indonesia yang proses fermentasinya sangat dipengaruhi oleh suhu, kelembaban, dan kualitas kedelai. Ketidaksihinggaan kondisi lingkungan dapat menyebabkan kegagalan fermentasi yang menurunkan mutu produk serta menimbulkan kerugian ekonomi. Selama ini penilaian kualitas tempe masih dilakukan secara manual oleh pengrajin, yang bersifat subjektif dan kurang konsisten. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem otomatis pengenalan kualitas tempe berbasis YOLOv8 yang diimplementasikan pada Raspberry Pi 4B dengan dukungan kamera Logitech C270, webserver monitoring, dan buzzer sebagai peringatan dini. Model YOLOv8 dilatih untuk mendeteksi dua kategori utama, yaitu tempe bagus dan tempe jelek, berdasarkan citra visual secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan performa sistem dengan akurasi rata-rata 93,1%, *Precision* 93,5%, *Recall* 91,2%, dan *mAP@50* sebesar 94,7%. Nilai *confidence* deteksi menunjukkan bahwa model lebih yakin pada kategori tempe jelek (0,94–0,95) dibandingkan tempe bagus (0,80–0,86), yang disebabkan oleh perbedaan visual yang lebih jelas.

### ABSTRACT

#### Keyword

Deep Learning,  
Fermentation,  
Quality Detection,  
Tempe,  
YOLOv8

*Tempe is a traditional Indonesian food whose fermentation process is highly influenced by temperature, humidity, and soybean quality. Inadequate environmental conditions can lead to fermentation failure, reducing product quality and causing economic losses. Traditionally, quality assessment of tempe has been carried out manually by artisans, which is subjective and inconsistent. This study aims to develop an automatic tempe quality recognition system based on YOLOv8, implemented on a Raspberry Pi 4B with a Logitech C270 camera, monitoring webserver, and buzzer as an early warning system. The YOLOv8 model was trained to detect two main categories, namely good tempe and failed tempe, through real-time visual analysis. Experimental results show system performance with an average accuracy of 93.1%, precision of 93.5%, recall of 91.2%, and mAP@50 of 94.7%. Confidence score analysis indicates that the model is more certain in detecting failed tempe (0.94–0.95) compared to good tempe (0.80–0.86), due to clearer visual differences.*

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



## 1. Pendahuluan

Tempe merupakan makanan tradisional Indonesia yang tidak hanya memiliki nilai budaya, tetapi juga telah berkembang menjadi bagian dari industri rakyat. Terdapat lebih dari 81 ribu pengusaha tempe[1] dan telah memproduksi 2,4 juta ton tempe per tahun[2]. Produk ini mengandung protein, lemak, karbohidrat, dan mineral yang dibutuhkan tubuh sehingga berperan penting sebagai sumber gizi. Proses produksi tempe sangat bergantung pada tahap fermentasi, yang melibatkan aktivitas jamur *Rhizopus oligosporus* dan *Rhizopus oryzae*, karena tahapan ini menentukan kualitas dan nilai gizi tempe yang dihasilkan [3]. Proses fermentasi tempe sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan, terutama suhu, kelembaban [4], dan kualitas kedelai. Suhu optimal dalam proses fermentasi tempe berkisar antara 30–35 °C dan kelembaban ideal antara 60–80 %[5]. Ketidaksihesuaian kondisi tersebut dapat menyebabkan kegagalan fermentasi, yang ditandai dengan perubahan warna, tekstur, serta adanya kontaminasi mikroba. Kegagalan ini tidak hanya menurunkan mutu produk, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi bagi produsen[6]. Studi teknologi inkubator fermentasi tempe dengan kontrol histeresis berhasil mempercepat fermentasi menjadi 29 jam pada suhu 34–35 °C dan kelembaban 69–70 %[7]. Penggunaan inkubator fermentasi tempe merupakan salah satu upaya untuk menjaga stabilitas kondisi lingkungan selama proses fermentasi[8].

Saat ini, pengamatan terhadap kualitas tempe masih banyak dilakukan secara manual dengan mengandalkan pengalaman pengrajin. Metode tradisional tersebut bersifat subjektif, kurang konsisten, dan memerlukan waktu relatif lama. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem yang mampu melakukan pengenalan kualitas tempe secara otomatis dan objektif, sehingga potensi kegagalan fermentasi dapat terdeteksi sejak dini.

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), khususnya *deep learning*, membuka peluang baru untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengelolaan fermentasi tempe. Dengan kemampuannya mengenali pola visual yang kompleks, *deep learning* telah diterapkan secara luas dalam berbagai bidang seperti pengenalan objek, pengolahan citra medis, dan analisis kualitas produk[9]. Salah satu model *deep learning* yang menonjol dalam tugas deteksi objek adalah YOLO (*You Only Look Once*), dan telah mengalami evolusi algoritma sejak YOLOv1 hingga generasi terbaru, dengan peningkatan signifikan pada kecepatan dan akurasi deteksi objek *real-time*[10]. YOLO telah dikenal memiliki efisiensi tinggi dalam mendeteksi objek[11] serta mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan dan akurasi dalam berbagai aplikasi[12]. Pendekatan penelitian terkait metode pengolahan citra digital untuk mengekstraksi fitur warna tempe pada berbagai tingkat kematangan fermentasi telah dilakukan oleh Istiadi dkk. (2021). Dalam penelitian tersebut, data citra kemudian diproses menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk mengklasifikasi tingkat kematangan tempe menjadi beberapa kategori. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ANN mampu melakukan identifikasi kematangan tempe dengan akurasi yang cukup tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai metode non-destruktif untuk menilai mutu fermentasi tempe[13].

Penelitian tentang pengenalan kualitas tempe berbasis *deep learning* telah dilakukan oleh Hendrawan (2022), yang menggunakan arsitektur CNN seperti SqueezeNet, GoogLeNet, ResNet50, dan AlexNet untuk mengklasifikasi kualitas tempe menjadi tiga kategori: baru, dapat dikonsumsi, dan tidak dapat dikonsumsi. Model terbaik mencapai akurasi 98,33% dengan memanfaatkan kamera digital murah dan metode non-destruktif *real-time*. Penelitian ini menunjukkan potensi besar *deep learning* dalam inspeksi kualitas tempe, namun belum mengimplementasikan YOLO[14].

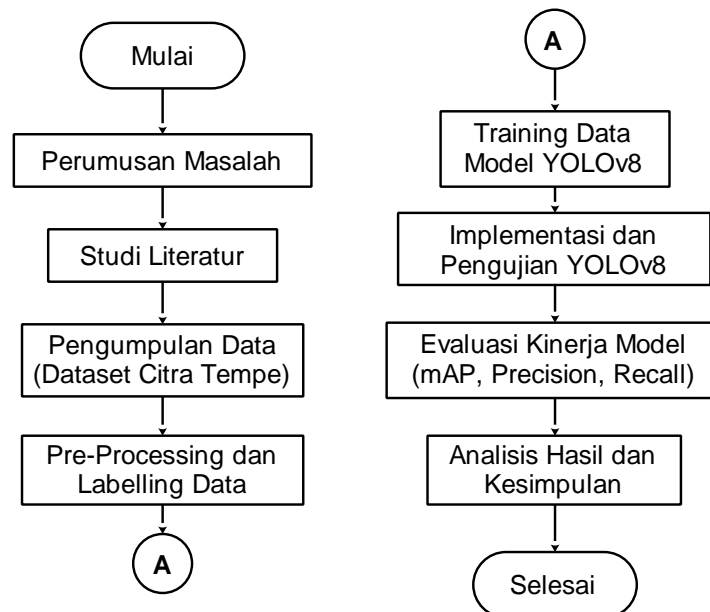
Sementara itu, penerapan YOLO untuk inspeksi pangan telah ditunjukkan oleh Ash'shobir (2025) pada deteksi kualitas cabai rawit menjadi tiga kategori: "bagus", "jelek", dan "tidak layak", dengan performa sangat tinggi (mAP 99,5%, presisi 99,6%, dan recall 99,9%). Uji *real-time*

membuktikan efektivitas YOLO dalam klasifikasi visual [15]. Penelitian lain oleh Yasen (2023) menerapkan YOLO untuk mendeteksi daun cabai yang terkena penyakit seperti virus kuning, spot-daun, dan *thrips*, dengan akurasi sekitar 77% dan mAP 75,1%. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa YOLO terbukti akurat dan responsif dalam inspeksi visual kualitas pangan [16], sehingga potensial untuk diaplikasikan pada pengenalan kualitas tempe. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, studi ini menghadirkan kebaruan pada integrasi algoritma YOLOv8 dengan perangkat Raspberry Pi 4B untuk mendeteksi kualitas tempe secara *real-time* langsung di lokasi fermentasi tanpa memerlukan komputer berdaya tinggi. Integrasi ini memungkinkan proses klasifikasi dan peringatan dini kegagalan fermentasi dilakukan secara otomatis di perangkat tepi (*edge computing*), yang sebelumnya belum pernah diterapkan pada produk fermentasi tradisional seperti tempe. Dengan penerapan ini, sistem diharapkan mampu mengenali kualitas tempe berdasarkan citra visual secara *real-time* serta memberikan notifikasi dini terhadap potensi kegagalan fermentasi.

Melalui penelitian ini, diharapkan tercipta sistem otomatis berbasis YOLOv8 yang dapat melakukan pengenalan kualitas tempe secara cepat, akurat, dan konsisten. Sistem ini diharapkan mampu membantu pengrajin maupun industri pangan dalam meningkatkan mutu produksi, mengurangi kerugian akibat kegagalan fermentasi, serta mendukung inovasi teknologi dalam pengolahan pangan tradisional Indonesia.

## 2. Metode

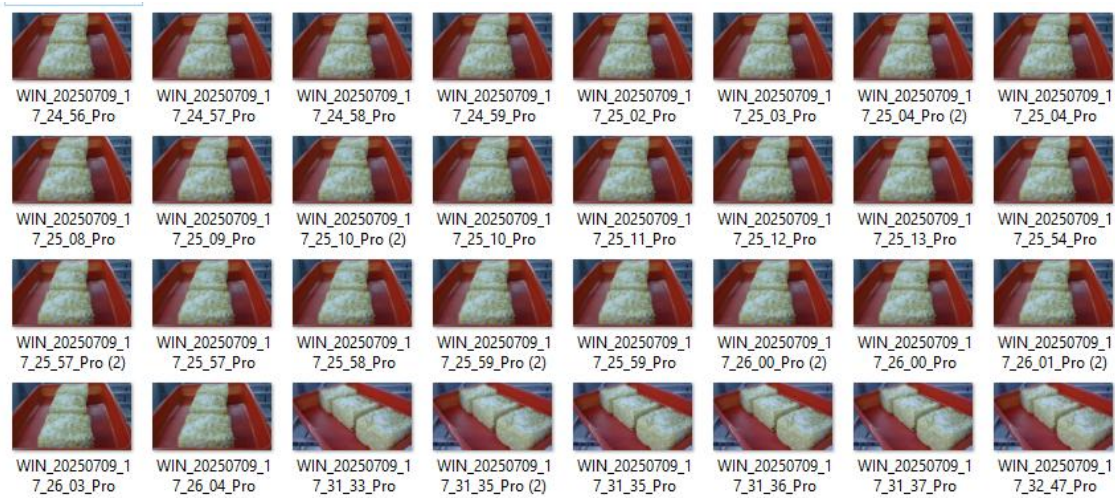
Tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan penelitian

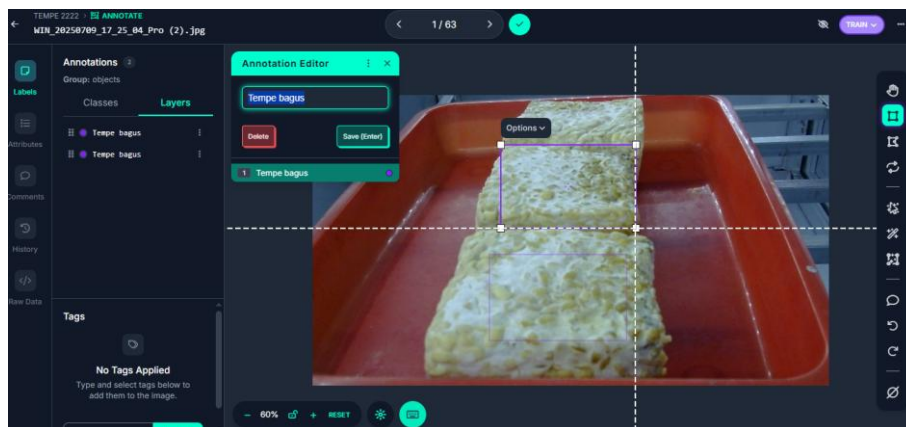
Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini diawali dengan perumusan masalah yang berfokus pada kebutuhan untuk mendeteksi kualitas tempe sejak dini, khususnya dalam mengidentifikasi potensi kegagalan fermentasi. Selanjutnya dilakukan studi literatur dengan mengkaji teori dan penelitian terdahulu mengenai pengolahan citra digital, deep learning, serta penerapan metode YOLOv8 dalam deteksi objek, guna mendapatkan landasan teoretis dan metodologis yang kuat. Langkah berikutnya adalah pengumpulan dataset citra tempe, yang mencakup berbagai kondisi fermentasi baik yang normal maupun yang berindikasi gagal. Dataset ini menjadi bahan utama untuk melatih model agar mampu mengenali perbedaan kualitas tempe secara visual. Dataset ini

diambil secara mandiri yang diatur resolusi gambarnya 640x480 piksel dari kamera webcam merk logitech c270. Jarak kamera terhadap tempe diatur berjarak 45 cm. Total Gambar tempe yang jelek adalah 400 gambar dan sedang gambar tempe bagus sebanyak 600 gambar. Tampilan hasil pengambilan dataset ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Dataset tempe yang digunakan.

Data yang terkumpul kemudian melalui proses pre-processing dan pelabelan, seperti penyesuaian ukuran gambar, peningkatan kualitas citra, augmentasi untuk memperluas variasi data, serta pemberian label pada citra sesuai kategori tingkat kualitas atau kegagalan fermentasi. Aplikasi yang digunakan untuk labelling ini menggunakan roboflow. Proses *labelling* ini ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Proses labelling dataset menggunakan roboflow.

Tahap selanjutnya adalah pelatihan model YOLOv8 menggunakan dataset yang telah diproses. Proses ini melibatkan konfigurasi parameter pelatihan untuk menghasilkan model yang optimal. Model yang dihasilkan kemudian diimplementasikan dan diuji pada data uji guna mengukur kemampuannya dalam mendeteksi kualitas tempe, khususnya dalam mengenali tanda-tanda kegagalan fermentasi. Hasil pengujian selanjutnya dievaluasi menggunakan metrik mAP, *Precision*, dan *Recall*, sehingga dapat diketahui akurasi prediksi, ketepatan identifikasi kualitas, dan sejauh mana model mampu mendeteksi kegagalan fermentasi secara menyeluruh. Secara matematis, *Precision* didefinisikan sebagai rasio antara jumlah deteksi benar positif (*True Positive* atau TP) terhadap total deteksi positif yang dihasilkan model, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (1). *Recall* merupakan rasio antara jumlah TP terhadap total objek aktual yang seharusnya terdeteksi (*True Positive + False Negative* atau TP + FN), seperti pada Persamaan (2).

Sementara itu, mAP dihitung sebagai rata-rata nilai *Average Precision* (AP) dari setiap kelas objek, yang menunjukkan tingkat kesesuaian antara deteksi model dan data sebenarnya sebagaimana pada Persamaan (3)[17][18].

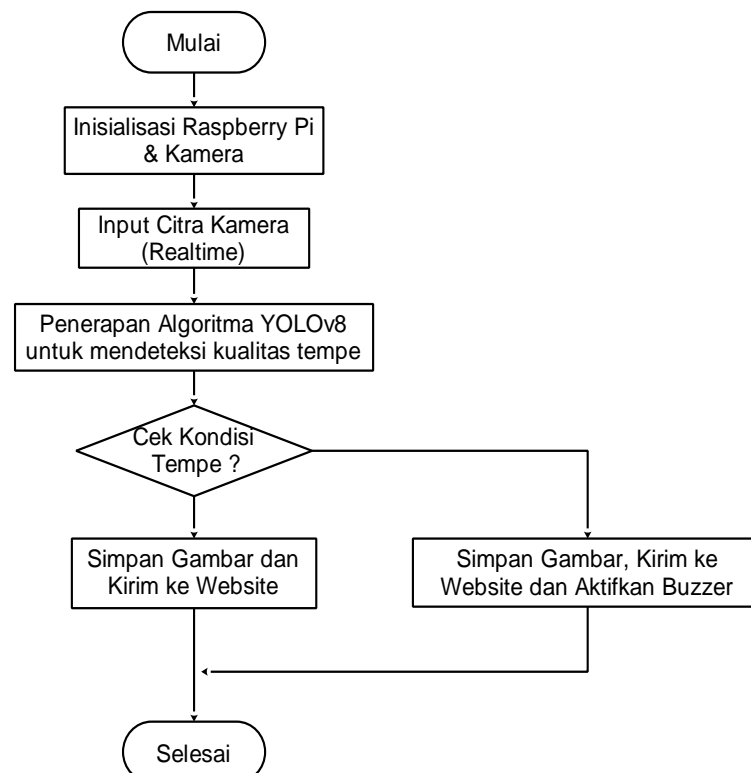
$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i \quad (3)$$

Keterangan: *TP* (*True Positive*) adalah jumlah deteksi benar terhadap objek yang ada, *FP* (*False Positive*) adalah jumlah kesalahan deteksi terhadap objek yang tidak ada, dan *FN* (*False Negative*) adalah jumlah objek yang tidak berhasil terdeteksi. Semakin tinggi nilai *Precision*, *Recall*, dan *mAP*, semakin baik pula kinerja model dalam mendeteksi kualitas tempe.

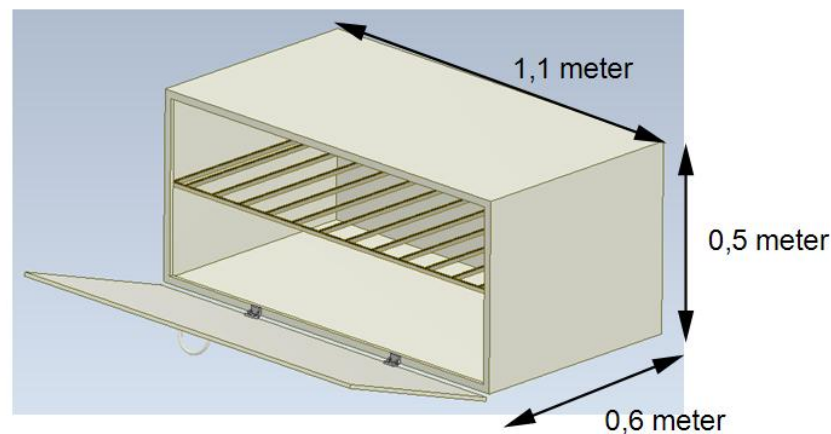
Tahap terakhir adalah analisis hasil dan kesimpulan, di mana kinerja model YOLOv8 dibahas secara mendalam untuk melihat sejauh mana ia mampu menjadi solusi praktis dalam pengenalan kualitas tempe. Dari analisis tersebut, ditarik kesimpulan mengenai efektivitas pendekatan ini serta rekomendasi untuk penelitian lanjutan, sehingga penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam membantu industri tempe melakukan deteksi dini kegagalan fermentasi secara lebih cepat dan akurat. Adapun tahapan dalam implementasi YOLOv8 ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Diagram alir implementasi YOLOv8.

Berdasarkan Gambar 4, sistem yang diusulkan dimulai dengan tahap inisialisasi perangkat keras berupa Raspberry Pi dan kamera yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan sensor input citra. Kamera kemudian menangkap citra tempe secara *real-time*, yang selanjutnya menjadi

masuk untuk tahap pengolahan menggunakan algoritma YOLOv8. Pada tahap ini, YOLOv8 digunakan untuk mendeteksi kualitas tempe berdasarkan model yang telah dilatih sebelumnya. Hasil deteksi kemudian dianalisis untuk menentukan kondisi tempe. Jika kondisi tempe terdeteksi normal atau baik, sistem akan menyimpan citra hasil deteksi dan mengirimkannya ke website monitoring sebagai dokumentasi. Sebaliknya, jika kondisi tempe terdeteksi mengalami kegagalan fermentasi atau bermasalah, maka sistem tidak hanya menyimpan citra dan mengirimkannya ke website, tetapi juga secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai bentuk peringatan dini. Tahap akhir dari proses ini adalah sistem kembali bersiap untuk menerima input citra berikutnya, sehingga mekanisme monitoring berlangsung secara berkesinambungan. Sistem pengenalan tempe ini diterapkan pada box proses fermentasi tempe, adapun desain dan dimensi dari box tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)

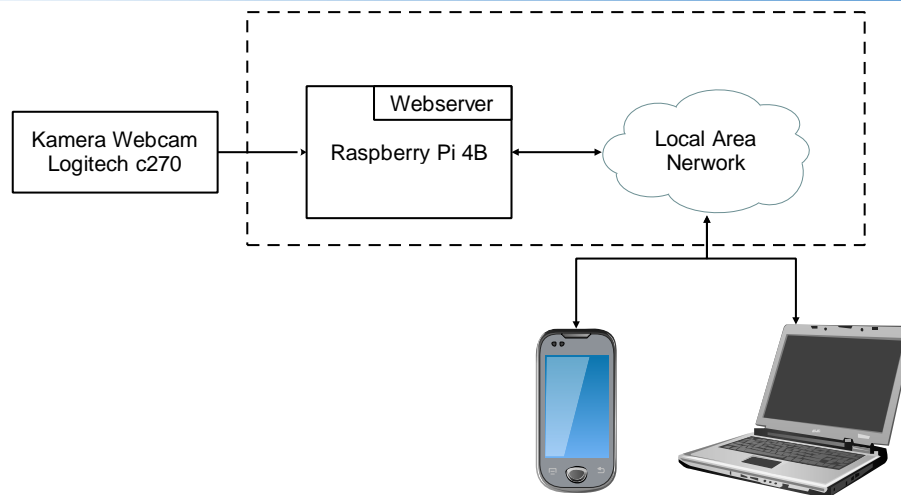


(b)

**Gambar 5.** Bentuk Box sistem fermentasi tempe. (a) desain dan dimensi box (b) kondisi saat sistem bekerja.

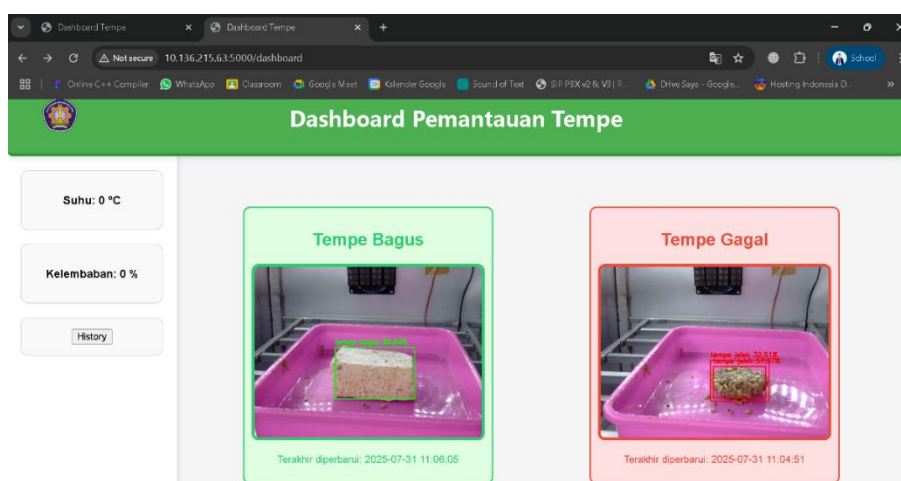
### 3. Perancangan Sistem

Sistem yang diusulkan ditunjukkan pada diagram blok pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Diagram blok sistem

Berdasarkan Gambar 6, sistem yang dirancang digambarkan melalui diagram blok yang terdiri atas tiga bagian utama, yaitu masukan, proses, dan keluaran. Pada bagian masukan, kamera Webcam Logitech C270 digunakan sebagai perangkat akuisisi data untuk menangkap citra tempe selama proses fermentasi berlangsung. Citra yang diperoleh kemudian dikirimkan ke Raspberry Pi 4B sebagai pusat pemrosesan. Pada bagian proses, Raspberry Pi menjalankan algoritma deep learning berbasis YOLOv8 yang telah dilatih untuk mengenali kualitas tempe berdasarkan karakteristik visual seperti warna, tekstur, serta pertumbuhan kapang. Selain itu, Raspberry Pi juga berfungsi sebagai *webservice* yang memungkinkan hasil deteksi dapat diakses melalui jaringan *Local Area Network* (LAN). Hasil analisis kemudian ditampilkan pada bagian keluaran. Perangkat seperti laptop dan smartphone dapat mengakses hasil deteksi kualitas tempe secara *real-time* melalui jaringan lokal, sehingga pengguna dapat melakukan monitoring dengan mudah. Selain itu, sistem dilengkapi dengan *buzzer* sebagai indikator peringatan dini. Jika sistem mendeteksi adanya kualitas tempe yang buruk atau indikasi kegagalan fermentasi, *buzzer* akan berbunyi sebagai tanda peringatan bagi pengguna. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya memberikan informasi visual melalui perangkat pengguna, tetapi juga menghadirkan notifikasi langsung untuk mendukung proses pengambilan keputusan secara cepat. Integrasi perangkat keras, jaringan, dan algoritma YOLOv8 menjadikan sistem ini sebagai solusi efektif dalam deteksi dini kegagalan fermentasi tempe. Tampilan dari *webservice* hasil proses pengenalan tempe ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Tampilan visualisasi data dari *webservice*.

Pada Gambar 7, menunjukkan tampilan Dashboard Pemantauan Tempe yang dirancang untuk memvisualisasikan hasil deteksi kualitas tempe menggunakan algoritma YOLOv8. Halaman *Dashboard* ini menampilkan dua kategori utama, yaitu Tempe Bagus yang ditandai dengan kotak hijau dan Tempe Jelek yang ditandai dengan kotak merah. Setiap hasil deteksi juga dilengkapi dengan waktu pembaruan terakhir sehingga pengguna dapat memantau kondisi fermentasi secara akurat.

#### 4. Hasil dan Analisis

Adapun hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 4.1 Hasil pengujian pengenalan kualitas tempe

Sistem pengenalan kualitas tempe berbasis YOLOv8 berhasil diimplementasikan pada perangkat Raspberry Pi 4B yang terhubung dengan kamera Logitech C270 sebagai sensor input. Sistem ini mampu mengklasifikasikan citra tempe ke dalam dua kategori utama, yaitu Tempe Bagus dan Tempe jelek. Hasil pengujian akurasi pengenalan kualitas tempe ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil akurasi pengenalan kualitas tempe

Kategori Tempe	Jumlah Data Uji	Benar Terdeteksi	Salah Terdeteksi	Akurasi (%)
Bagus	500	470	30	94.0
Jelek	300	275	25	91.7
Total	800	745	55	93.1

Berdasarkan Tabel 1, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu mengenali tempe dengan kualitas baik dengan tingkat akurasi sebesar **94%**, sedangkan pada tempe dengan kualitas gagal akurasi sedikit lebih rendah, yaitu **91,7%**. Secara keseluruhan, sistem menghasilkan akurasi rata-rata sebesar **93,1%**. Capaian ini mengindikasikan bahwa model YOLOv8 yang digunakan memiliki kinerja yang cukup andal dalam membedakan kualitas tempe.

##### 4.2 pengujian *confidence* dalam pengenalan kualitas tempe

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepercayaan model dalam melakukan prediksi kualitas tempe yang terdeteksi. Hasil pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian *confidence* dalam pengenalan kualitas tempe

No	Kategori	Nama Gambar	<i>Confidence</i>	Label Hasil Deteksi
1	Tempe Bagus	Bagus1.jpg	0.80	Bagus
2	Tempe Bagus	Bagus2.jpg	0.83	Tempe Bagus
3	Tempe Bagus	Bagus3.jpg	0.85	Tempe Bagus
4	Tempe Bagus	Bagus4.jpg	0.85	Tempe Bagus
5	Tempe Bagus	Bagus5.jpg	0.86	Tempe Bagus
6	Tempe Jelek	Gagal1.jpg	0.95	Tempe Gagal
7	Tempe Jelek	Gagal2.jpg	0.94	Tempe Gagal
8	Tempe Jelek	Gagal3.jpg	0.95	Tempe Gagal
9	Tempe Jelek	Gagal4.jpg	0.94	Tempe Gagal
10	Tempe Jelek	Gagal5.jpg	0.94	Tempe Gagal

Algoritma YOLOv8 digunakan untuk mengenali kualitas tempe dengan dua kategori utama, yaitu tempe bagus dan tempe gagal. Nilai *confidence* berada pada rentang 0 hingga 1, di mana semakin mendekati angka 1 menunjukkan tingkat keyakinan yang lebih tinggi dari model

terhadap hasil deteksi. Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 2, sistem menunjukkan variasi nilai confidence pada kedua kategori. Untuk kategori tempe bagus, nilai confidence berkisar antara 0,80–0,86, sedangkan pada kategori tempe gagal, nilai confidence relatif lebih tinggi, yaitu 0,94–0,95. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa model lebih yakin dalam mengenali tempe jelek dibandingkan dengan tempe bagus. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristik visual tempe gagal yang lebih kontras dan memiliki fitur tekstur yang khas, seperti munculnya bercak hitam, perubahan warna permukaan menjadi abu-abu kecokelatan, serta pola pertumbuhan kapang yang tidak merata. Ciri-ciri ini memberikan perbedaan signifikan dalam intensitas piksel dan distribusi warna yang mudah ditangkap oleh feature extractor pada arsitektur YOLOv8. Sebaliknya, tempe dengan kualitas baik cenderung memiliki permukaan yang homogen, berwarna putih merata, dan tekstur halus, sehingga tingkat variasi fitur visualnya lebih rendah. Kondisi tersebut membuat model sedikit lebih sulit membedakan area batas objek dan mengakibatkan nilai confidence lebih rendah pada kategori tempe bagus.

### 4.3 Hasil pengujian model YOLOv8

Model YOLOv8 dilatih menggunakan dataset citra tempe yang terdiri dari 1.000 gambar, dengan rincian 600 gambar tempe bagus dan 400 gambar tempe jelek. Hasil pengujian menunjukkan performa model yang cukup baik dengan nilai Precision, Recall, dan mAP@50 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

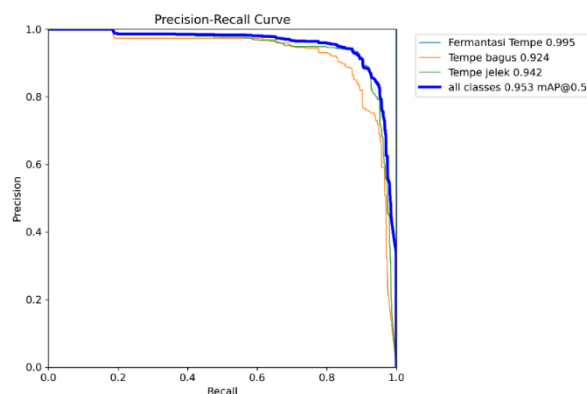
**Tabel 3.** Hasil pengujian model YOLOv8

Metrik	Nilai (%)
Precision	93.5
Recall	91.2
mAP@50	94.7
mAP@50-95	88.3

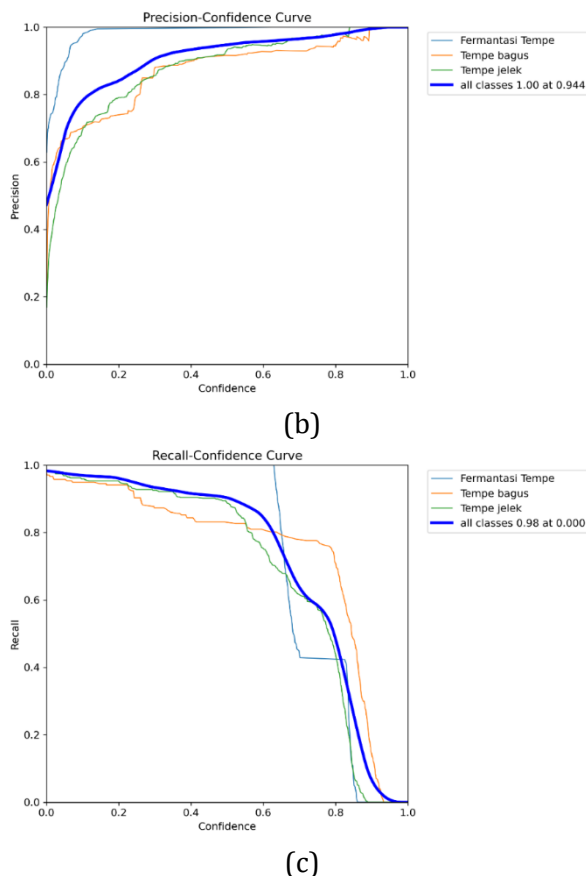
Dari tabel 3. terlihat bahwa model mampu mendeteksi kualitas tempe dengan tingkat akurasi tinggi. Nilai mAP@50 sebesar 94.7% menunjukkan bahwa YOLOv8 cukup andal dalam mengenali perbedaan antara tempe bagus dan jelek.

### 4.4 Hasil Evaluasi Training

Pengujian akurasi pengenalan kualitas tempe dilakukan melalui proses training pada Google Colab dengan menggunakan dataset yang telah dikumpulkan dan diproses sebelumnya. Evaluasi model dilakukan dengan menganalisis tiga kurva utama, yaitu *Precision–Recall Curve*, *Precision–Confidence Curve*, dan *Recall–Confidence Curve*. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 8.



(a)



(b)  
 (c)  
**Gambar 8. Hasil Evaluasi Model**  
 (a) Hasil *Precision-Recall Curve* (b) Hasil *Precision-Confidence Curve*  
 (c) Hasil *Recall-Confidence Curve*.

Pada *Precision-Confidence Curve* (Gambar 8.(a)), terlihat bahwa seiring meningkatnya nilai confidence, nilai precision juga mengalami peningkatan untuk ketiga kelas. Model mencapai *precision* 100% pada seluruh kelas ketika confidence berada pada kisaran **0,94**, yang menunjukkan kestabilan kinerja model pada ambang kepercayaan tinggi. Sementara itu, *Precision-Recall Curve* (Gambar 8.(b)) menunjukkan kinerja model yang sangat baik dengan nilai *mAP@0,5* sebesar 0,953. Kelas fermentasi tempe memiliki nilai precision tertinggi sebesar 0,995, diikuti oleh kelas tempe jelek sebesar 0,942 dan kelas tempe bagus sebesar 0,924. Hal ini membuktikan bahwa model mampu mengidentifikasi kategori tempe dengan tingkat akurasi yang sangat memuaskan. Sedangkan pada *Recall-Confidence Curve* (Gambar 8.(c)), nilai *recall* awal terlihat sangat tinggi, sekitar 0,98 pada confidence rendah. Namun, recall menurun seiring meningkatnya *confidence* karena model menjadi lebih selektif dalam menghasilkan prediksi. Fenomena ini mencerminkan adanya trade-off antara *precision* dan *recall*, di mana peningkatan kepercayaan prediksi berdampak pada berkurangnya sensitivitas model dalam mendeteksi kualitas tempe.

## 5. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem otomatis pengenalan kualitas tempe berbasis YOLOv8 yang diimplementasikan pada Raspberry Pi 4B dengan dukungan kamera Logitech C270. Sistem mampu mendeteksi dua kategori utama, yaitu tempe bagus dan tempe jelek, secara *real-time* serta terintegrasi dengan webserver monitoring dan *buzzer* sebagai peringatan dini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model YOLOv8 memiliki akurasi rata-rata 93,1%, dengan nilai *Precision* 93,5%, *Recall* 91,2%, dan *mAP@50* sebesar 94,7%. Pengujian *confidence* mengindikasikan bahwa model lebih yakin dalam mengenali tempe jelek (*confidence*

0,94–0,95) dibandingkan tempe bagus (*confidence* 0,80–0,86), karena karakteristik visual tempe jelek lebih kontras. Evaluasi kurva *Precision-Recall* juga memperlihatkan kinerja model yang stabil dengan nilai *mAP@0,5* sebesar 0,953, membuktikan bahwa YOLOv8 andal dalam membedakan kualitas tempe.

## Referensi

- [1] H. Hendrarini, T. Soedarto, A. Putri, S. Rusdianto, and R. F. Setiawan, "Inventory of Raw Materials and Business Feasibility in Tempe Agroindustry in Sedenganmijen Village , Sidoarjo District," *Himal. J. Agric.*, pp. 1–8, 2021.
- [2] N. R. Reddy, "Tempe," in *Tempe: Persembahan Indonesia untuk Dunia*, 2019, pp. 95–40.
- [3] Y. Asbur and K. Khairunnisyah, "Tempe sebagai sumber antioksidan: Sebuah Telaah Pustaka," *Agril. J. Ilmu Pertan.*, vol. 9, no. 3, pp. 2021–183, 2021.
- [4] C. S. Wulandari, M. Murhadi, S. Rizal, and M. E. Kustyawati, "Pengaruh Perbandingan *Rhizopus oligosporus* dan *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Sifat Sensori Tempe Selama Fermentasi," *Semin. Nas. LPPM UMMAT*, vol. 22, pp. 442–451, 2024.
- [5] R. S. Sari, N. Nuryanto, and A. Widiyanto, "Temperature and Humidity Control System for Tempe Gembus Fermentation Process Based on Internet of Things," *Urecol Journal. Part G Multidiscip. Res.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–45, 2021.
- [6] A. A. Prasetyo *et al.*, "Analisis Tingkat Keberhasilan Dan Kegagalan Dalam Pembuatan Tempe Dengan Menerapkan Distribusi Binomial," *Bull. Appl. Ind. Eng. Theory*, vol. 2, no. 2, pp. 91–93, 2021.
- [7] G. M. Aji, A. F. Pratiwi, and S. W. Utami, "Rancang Bangun Inkubator Tempe Untuk Mempercepat Waktu Fermentasi," *Agroteknika*, vol. 7, no. 4, pp. 488–497, 2024.
- [8] P. Damayanti, "Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Pada Inkubator Fermentasi Tempe Menggunakan Thingier.io," *J. Elektro Kontrol*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2023.
- [9] Rosidin, R. Novianti, K. P. Ningsih, D. Haryadi, G. Chrisnawati, and N. Anripa, "Peran Kecerdasan Buatan Dalam Pengembangan Sistem Otomatisasi Proses Bisnis," *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, vol. 7, pp. 9320–9329, 2024.
- [10] M. Trigka and E. Dritsas, "A Comprehensive Survey of Machine Learning Techniques for Brain Tumor Detection," *Sensors*, vol. 796, pp. 309–319, 2024.
- [11] T. Taufiqurrahman, A. P. Hadi, and R. E. Siregar, "Evaluasi Performa YOLOv8 Dalam Deteksi Objek Di Depan Kendaraan Dengan Variasi Kondisi Lingkungan," *J. Minfo Polgan*, vol. 13, no. 2, pp. 1755–1773, 2024.
- [12] R. Hidayattullah, N. Suarna, I. Ali, and D. I. Efendi, "Deep Learning Algoritma YOLOv8 Untuk Meningkatkan Analisis Kepadatan Lalu Lintas," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 2, pp. 1–8, 2025.
- [13] I. Istiadi, A. Y. Rahman, and A. D. R. Wisnu, "Identification of Tempe Fermentation Maturity Using Principal Component Analysis and K-Nearest Neighbor," *Sink. J. dan Penelit. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 286–294, 2023.
- [14] Y. Hendrawan *et al.*, "Classification of soybean tempe quality using deep learning," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 924, no. 1, 2021.
- [15] A. H. A. Ash'shobir, K. G. P. Harli, A. P. P. Rudi, I. G. S. Putro, and O. D. P. Cahyono, "Sistem Deteksi Kualitas Cabai Rawit Menggunakan Metode YOLO," *Modem J. Inform. dan Sains Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 114–132, 2025.

- [16] N. M. Yasen, S. Rifka, R. Vitria, and Y. Yulindon, "Pemanfaatan Yolo Untuk Deteksi Hama Dan Penyakit Pada Daun Cabai Menggunakan Metode Deep Learning," *Elektron J. Ilm.*, vol. 15, pp. 63–71, 2023.
- [17] R. Padilla, S. L. Netto, and E. A. B. Da Silva, "A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms," *Int. Conf. Syst. Signals, Image Process.*, vol. 2020-July, no. July, pp. 237–242, 2020.
- [18] H. Zhang and X. Yang, "A Survey on Algorithms and Performance Metrics for Object Detection," *Int. Core J. Eng.*, vol. 9, no. 9, pp. 133–145, 2023.



Isa Mahfudi, memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.S.T.) dari Program Studi Jaringan Telekomunikasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang pada tahun 2015, serta gelar Magister Terapan Teknik (M.Tr.T.) dari Program Magister Terapan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang pada tahun 2019. Saat ini, ia menjabat sebagai Dosen dengan jabatan akademik Asisten Ahli di Politeknik Negeri Malang. Minat penelitiannya berada pada bidang Jaringan Telekomunikasi, Computer Vision, dan Machine Learning.

Alamat Email: isa\_mahfudi@polinema.ac.id



Mila Kusumawardani, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Program Studi Teknik Elektro, Universitas Brawijaya pada tahun 1999, serta gelar Magister Teknik (M.T.) dari Program Pascasarjana Teknik Elektro, Universitas Brawijaya pada tahun 2011. Saat ini, ia menjadi Dosen di Politeknik Negeri Malang. Minat penelitiannya berada pada bidang Jaringan Telekomunikasi, Kontrol Trafik Internet, dan Sistem Cerdas.

Alamat Email: mila.kusumawardani@polinema.ac.id



Prof. Dr. Moehammad Sarosa, Dipl.Ing., MT., memperoleh gelar Sarjana dari IUT Université Nancy I, Perancis pada tahun 1990 di bidang Informatika Industri, gelar Magister Teknik (M.T.) dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2002 di bidang Teknik Elektro, serta gelar Doktor (Dr.) dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2007 di bidang Teknik Elektro. Saat ini, beliau menjadi Dosen sekaligus Guru Besar pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang. Minat penelitiannya berada pada bidang Jaringan Neuro Fuzzy, Computer Vision, dan Sistem Cerdas.

Alamat Email: msarosa@polinema.ac.id



Chandrasena Setiadi, memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Program Studi Teknik Elektro, Universitas Brawijaya pada tahun 2008, serta gelar Magister Terapan Teknik (M.Tr.T.) dari Program Magister Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang pada tahun 2019. Saat ini, ia menjadi Dosen di Politeknik Negeri Malang. Minat penelitiannya berada pada bidang Jaringan Komputer, Sistem Operasi, dan Desain Antena.

Alamat Email: [chandrasenasetiadi@polinema.ac.id](mailto:chandrasenasetiadi@polinema.ac.id)