

Optimalisasi Algoritma YOLOv5 untuk Deteksi Mata Katarak

Fachri Adryansyah¹, Andi Susilo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada
Jl. Raden Inten II, Pondok Kelapa, Jakarta Timur, Indonesia
*andi_susilo@ft.unsada.ac.id

Abstrak — Penelitian ini membahas penerapan algoritma YOLOv5 untuk deteksi dini penyakit katarak berdasarkan pengolahan citra, katarak adalah penyakit mata umum yang dapat menyebabkan kebutaan jika tidak segera ditangani. YOLOv5 sebagai metode deteksi objek *real-time* mampu mengidentifikasi objek dalam satu frame gambar dengan kecepatan tinggi dan akurasi mencapai 85%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma YOLOv5 ini mampu mengidentifikasi katarak dengan baik yang dibuktikan dengan nilai F1-Score sebesar 0,86, Precision 0,894, dan Recall 0,891.

Kata kunci: YOLOv5, Deteksi Dini, Mata Katarak, Pengolahan Citra

Copyright © 2024 JURNAL TIFDA
All rights reserved.

I. PENDAHULUAN

Katarak tetap menjadi salah satu penyebab utama gangguan penglihatan seumur hidup. Pada tahun 2020, lebih dari 100 juta orang menderita katarak di seluruh dunia, termasuk 17 juta dengan kebutaan. Di Indonesia, berdasarkan data dari Perhimpunan Dokter Spesialis Mata Indonesia (Perdami) mencatat jumlah penyandang kebutaan sebanyak 1.6 juta orang, dan sekitar 80 persen disebabkan oleh katarak. Pada kenyataannya, meskipun dapat menjadi sebab kebutaan, katarak dapat diatasi melalui prosedur operasi. YOLO (*You Only Look Once*) merupakan teknik deteksi objek yang cepat dan akurat, bahkan lebih unggul dibandingkan CNN. YOLO, yang dapat diimplementasikan dengan *framework* Darknet atau Darkflow, menggunakan GPU untuk meningkatkan kecepatan [1]. Dalam penelitian ini, YOLO digunakan untuk mendeteksi katarak pada mata, dengan hasil klasifikasi dibagi menjadi dua kelas yaitu mata normal dan mata katarak.

Kemajuan teknologi dalam sektor kesehatan termasuk penggunaan peralatan medis dan teknologi informasi, dapat meningkatkan kualitas dan efisiensi layanan kesehatan, terutama di wilayah dengan keterbatasan sumber daya medis [2]. Tingginya angka kebutaan akibat katarak menunjukkan banyak pasien yang belum menjalani operasi, yang disebabkan oleh

kurangnya kesadaran masyarakat tentang kondisi katarak mereka serta distribusi dokter spesialis mata yang tidak merata di Indonesia. Semakin lama pengobatan ditunda, semakin parah kerusakan penglihatan yang terjadi [3].

Pada penelitian ini, pemilihan YOLOv5 dibandingkan dengan versi YOLO yang lebih rendah, seperti YOLOv3 atau YOLOv4, didasarkan pada beberapa pertimbangan yang menunjukkan keunggulan YOLOv5. Beberapa alasan mengapa YOLOv5 dipilih antara lain.

1. YOLOv5 menawarkan peningkatan dalam hal akurasi dan kecepatan deteksi dibandingkan dengan versi sebelumnya. Dengan arsitektur yang lebih efisien, YOLOv5 mampu memberikan hasil yang lebih baik dalam mendeteksi objek, termasuk katarak pada citra mata.
2. YOLOv5 memiliki struktur arsitektur yang lebih modern, termasuk penggunaan *Cross-Stage Partial Network (CSP)* dan *Spatial Pyramid Pooling (SPP)*. Hal tersebut memungkinkan model untuk mengekstraksi fitur dengan lebih baik dari berbagai ukuran citra, yang berkontribusi pada peningkatan akurasi deteksi.
3. YOLOv5 dirancang untuk memberikan kecepatan deteksi yang lebih tinggi, yang sangat penting dalam aplikasi *real-time* seperti deteksi katarak.

Dengan waktu deteksi yang lebih cepat, sistem dapat memberikan hasil secara instan, meningkatkan efisiensi dalam proses diagnosis.

4. YOLOv5 tersedia dalam beberapa varian (s, m, l, x) yang memungkinkan pengguna untuk memilih model yang sesuai dengan kebutuhan spesifik mereka, tergantung pada sumber daya komputasi yang tersedia dan tingkat akurasi yang diinginkan. Ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan versi sebelumnya.

Berdasarkan pertimbangan faktor-faktor tersebut, YOLOv5 dipilih sebagai algoritma yang lebih unggul untuk deteksi dini katarak dalam penelitian ini, dibandingkan dengan versi YOLO yang lebih rendah.



Gambar 1. Kondisi Mata Katarak

Katarak adalah gangguan penglihatan di mana lensa mata menjadi keruh, mengganggu penglihatan dan menyebabkan mata menjadi silau. Gambar 1 memperlihatkan kondisi mata katarak. Kondisi ini sering terjadi akibat penuaan atau faktor lain seperti cedera dan diabetes. Gejalanya termasuk penglihatan kabur dan sensitivitas terhadap cahaya. Penanganan utama adalah operasi penggantian lensa mata, yang dapat mengembalikan penglihatan. Pencegahan katarak mencakup menghindari paparan sinar matahari berlebih dan menjaga kesehatan mata.

A. Machine Learning

Machine learning memungkinkan sistem belajar dari data tanpa pemrograman eksplisit. Prosesnya terdiri dari dua tahap utama: latihan dan pengujian, yang membantu model untuk meningkatkan akurasi prediksi berdasarkan data yang diterima [4].

B. Algoritma You Only Look Once (YOLO)

YOLO adalah algoritma deteksi objek cepat yang menggunakan satu jaringan saraf untuk memprediksi kotak pembatas dan kelas objek secara simultan. Algoritma ini sangat efisien, dengan kecepatan deteksi mencapai 45 FPS [5]. YOLOv5 versi terbaru, memiliki struktur yang terdiri dari *input*, *backbone*, *neck*, dan *output* dengan berbagai varian (s, m, l, x) yang disesuaikan untuk sumber daya komputasi dan akurasi yang dibutuhkan [6].

C. Python

Python adalah bahasa pemrograman yang mudah dipahami dan sangat populer, terutama dalam bidang analisis data dan kecerdasan buatan. Kelebihannya termasuk sintaksis code yang sederhana dan banyak pustaka yang mendukung berbagai aplikasi [7].

D. OpenCV

OpenCV adalah pustaka open source untuk visi komputer, menyediakan lebih dari 500 fungsi untuk pemrosesan gambar. OpenCV mendukung berbagai platform dan digunakan dalam aplikasi seperti deteksi wajah dan pengenalan objek [8].

E. Google Colab

Google Colab adalah platform cloud untuk eksekusi kode Python yang menyediakan akses gratis ke GPU/TPU untuk pelatihan model *machine learning*. Hal ini sangat berguna untuk eksperimen dan kolaborasi dalam pengembangan model *machine learning* [9].

F. Parameter Deteksi Objek

Beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja model deteksi objek meliputi presisi, sensitivitas, F1-score, IoU (*Intersection over Union*) dan mAP. Parameter ini mengukur seberapa akurat dan efisien model dalam mendeteksi objek, sangat penting dalam aplikasi yang bekerja secara *real time*.

- a) Presisi: Presisi mengukur seberapa banyak objek yang terdeteksi oleh model adalah objek yang sebenarnya. Presisi dihitung sebagai jumlah *true positive* dibagi oleh jumlah *true positive* dan *false positive* dijelaskan pada persamaan 1.

$$\text{Presisi} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}} \quad (1)$$

- b) Sensitivitas: Sensitivitas mengukur seberapa banyak objek yang sebenarnya berhasil dideteksi oleh model. Sensitivitas dihitung sebagai jumlah *true positive* dibagi oleh jumlah *true positive* dan *false negative* dijelaskan pada persamaan 2.

$$\text{Sensitivitas} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Negative}} \quad (2)$$

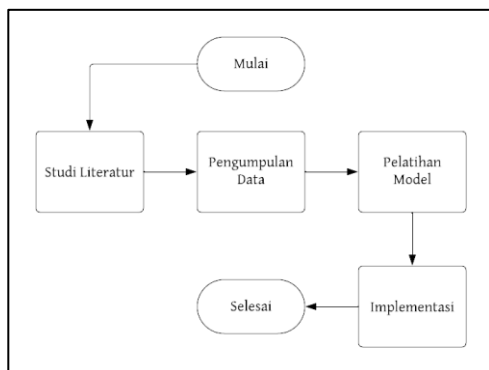
- c) F1-Score: F1-Score adalah metrik gabungan yang menggabungkan presisi dan sensitivitas. F1-Score dihitung sebagai $2 \times \text{Presisi} \times \text{Sensitivitas} / (\text{Presisi} + \text{Sensitivitas})$. Metrik ini berguna ketika keseimbangan antara presisi dan sensitivitas diperlukan.

II. METODOLOGI

A. Metode Pelaksanaan

Gambar 2 adalah alur metode pelaksanaan deteksi mata katarak dengan YOLOv5 dimulai dengan persiapan dataset gambar mata yang dilabeli bounding box untuk menunjukkan lokasi katarak. Dataset dibagi menjadi set pelatihan dan pengujian. Konfigurasi

YOLOv5 disesuaikan termasuk jumlah kelas dan parameter lainnya. Model dilatih menggunakan set pelatihan dengan penyesuaian parameter seperti epoch dan batch size. Setelah pelatihan dijalankan selanjutnya model dievaluasi menggunakan metrik seperti IoU, *precision*, *recall*, dan F1-score [10]. Model digunakan untuk inferensi pada citra baru dengan *fine-tuning* jika diperlukan. Tahap akhir menggunakan modul untuk diimplementasikan dalam aplikasi yang dapat menerima input gambar dan menampilkan hasil deteksi dan validasi lanjutan dilakukan untuk memastikan akurasi dan kehandalan deteksi.



Gambar 2. Alur metode pelaksanaan

B. Analisis dan Pengumpulan Data

Pada tahap analisis data, penelitian ini menggunakan algoritma Convolutional Neural Network (CNN) dengan YOLOv5. Proses pengumpulan data dilakukan melalui survei, observasi, pengambilan sampel, dan wawancara untuk mengidentifikasi masalah yang sering terjadi pada masyarakat, khususnya terkait mata normal dan mata katarak [11]. Data berupa gambar mata yang sehat dan katarak dikumpulkan, kemudian diuji dengan YOLOv5 untuk mengukur akurasi deteksi objek [12]. Dataset yang digunakan sebanyak 856 gambar yang dibagi menjadi 642 gambar untuk pelatihan, 128 gambar untuk validasi, dan 86 gambar untuk pengujian. Data citra diperoleh dari Kaggle dan Pinterest. Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah pelabelan data menggunakan LabelImg untuk mendapatkan koordinat objek yang akan dilatih, mengingat YOLOv5 adalah algoritma *supervised learning* yang membutuhkan label agar proses pembelajaran dapat berlangsung dengan efektif terlihat pada Tabel 1 kelas pada Dataset.

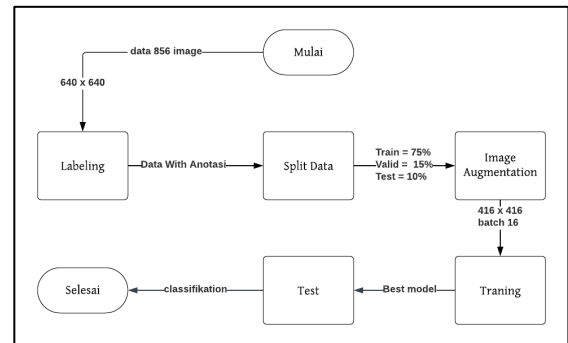
Tabel 1. Kelas pada Dataset

Nama Kelas	Gambar	Nama Kelas	Gambar
Mata Normal		Mata Katarak	

C. Perancangan Sistem

Diagram ini menggambarkan proses pembuatan model *deep learning*, dimulai dari persiapan data

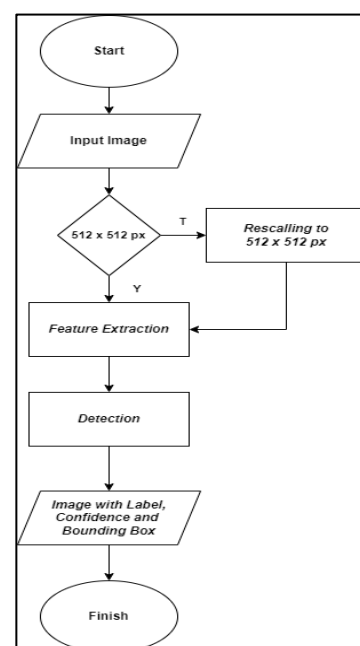
hingga pengujian model. Tahap pertama adalah pelabelan, yaitu memberi bounding box, anotasi, atau label pada dataset. Data kemudian dibagi menjadi tiga set: training set (75%, 642 dataset), validation set (15%, 128 dataset), dan testing set (10%, 86 dataset). Setelah itu, dilakukan augmentasi gambar untuk mengubah ukuran gambar menjadi 416 x 416. Selanjutnya, model dilatih untuk deteksi objek, menghasilkan dua model: last.pt dan best.pt. Proses terakhir adalah pengujian untuk mengevaluasi akurasi model dengan data baru, yang dapat dilihat lebih lanjut pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan alur proses augmentasi gambar

D. Diagram Alur Sistem

Diagram alur sistem pada Gambar 4 dimulai dengan penginputan gambar oleh pasien berukuran 416x416 piksel. Jika gambar tidak sesuai dengan ukuran tersebut, proses rescaling akan dilakukan. Setelah itu, gambar masuk ke tahap ekstraksi fitur (*feature extraction*), kemudian dilanjutkan dengan proses deteksi menggunakan algoritma YOLOv5. Akhirnya, hasil deteksi berupa label, *confidence* (kemiripan), dan *bounding box* akan diperoleh.



Gambar 1. Alur kerja sistem

E. Scenario Pengujian

Skenario pengujian pada sistem deteksi dan klasifikasi mata katarak bertujuan untuk memilih model terbaik yang akan diimplementasikan, dengan menggunakan model YOLOv5. Pengujian dilakukan terhadap dataset yang telah diperoleh dan output yang dihasilkan mencakup *Precision*, *Recall*, *mAP@0.5*, *mAP@0.5:0.95*, waktu deteksi, serta ukuran file dari masing-masing model. *Confusion Matrix* digunakan untuk mengukur kinerja model klasifikasi, baik untuk klasifikasi biner (yes/no) maupun multi-class. Dari *confusion matrix*, *precision* dan *recall* dapat dihitung dengan persamaan 3:

$$precision = \frac{TP}{TP+FP} = \frac{TP}{DB} \quad (3)$$

Tahap dalam menentukan *recall* dapat menggunakan persamaan 4.

$$recall = \frac{TP}{TP+FN} = \frac{TP}{GT} \quad (4)$$

Dalam menghitung *mAP* (*mean Average Precision*) digunakan persamaan 5:

$$AP = \frac{1}{11} \times (AP(0) + AP(0,1) + \dots + AP(1,0)) \quad (5)$$

$$mAP = \frac{\sum AP}{\text{jumlah class}}$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Training model

Proses training model pada YOLOv5 melibatkan beberapa langkah penting yang dirancang untuk melatih model deteksi objek dengan menggunakan dataset yang telah disiapkan. Adapun mengenai proses training model YOLOv5 dijelaskan seperti berikut.

1) Persiapan Dataset

- Dataset yang digunakan untuk training harus terdiri dari citra yang telah dilabeli dengan bounding box dan kelas objek. Dalam konteks deteksi katarak, citra mata perlu dilabeli sebagai "normal" atau "katarak".
- Dataset biasanya dibagi menjadi dua bagian: data latih (*training set*) dan data validasi (*validation set*) untuk menguji performa model setelah training.

2) Konfigurasi Model

- Sebelum memulai training, konfigurasi model perlu disiapkan. Ini mencakup pengaturan parameter seperti ukuran input gambar (misalnya, 416x416), jumlah kelas, dan jumlah filter yang digunakan dalam lapisan deteksi.
- Konfigurasi ini juga mencakup pengaturan batch size, learning rate, dan jumlah iterasi (*epochs*) yang akan dilakukan selama training.

3) Augmentasi Data

- Untuk meningkatkan keberagaman dataset dan mencegah *overfitting*, augmentasi data dapat diterapkan. Ini termasuk teknik seperti rotasi,

flipping, dan perubahan pencahayaan pada gambar.

- Augmentasi membantu model untuk belajar dari variasi yang lebih luas dalam data, sehingga meningkatkan generalisasi model.

4) Proses Training

- Model YOLOv5 dilatih menggunakan framework neural network seperti PyTorch. Proses training melibatkan pengulangan *forward pass* dan *backward pass*.
- Pada *forward pass*, gambar input diproses melalui jaringan untuk menghasilkan prediksi bounding box dan kelas objek. Kemudian, loss function dihitung berdasarkan perbedaan antara prediksi dan label sebenarnya.
- Pada *backward pass*, gradien dihitung dan bobot model diperbarui menggunakan algoritma optimasi (seperti ADAM atau SGD) untuk meminimalkan loss.

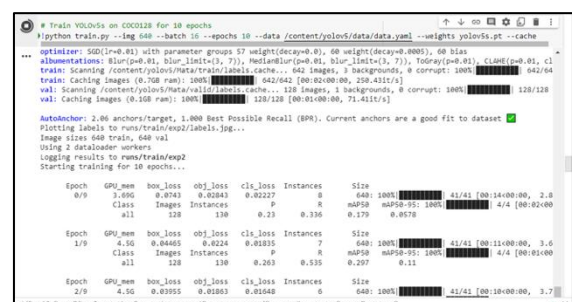
5) Evaluasi Model

- Setelah setiap epoch, model dievaluasi menggunakan data validasi untuk memantau performa. Metode evaluasi yang umum digunakan termasuk menghitung *Precision*, *Recall*, dan *F1-Score*.
- Jika performa model tidak meningkat, proses training dapat dihentikan lebih awal (*early stopping*) untuk menghindari *overfitting*.

6) Penyimpanan Model dan inferensi

- Setelah proses training selesai, model yang telah dilatih disimpan dalam format yang dapat digunakan untuk inferensi di masa mendatang. Model ini dapat dimuat kembali untuk melakukan deteksi objek pada gambar baru.
- Setelah model dilatih, maka model tersebut digunakan untuk mendeteksi objek dalam gambar baru. Proses inferensi melibatkan pengolahan gambar input melalui model untuk menghasilkan prediksi *bounding box* dan kelas objek yang terdeteksi.

Gambar 5 memperlihatkan proses training model YOLOv5 pada COCO128 untuk 10 epochs.



Gambar 5. Proses training model YOLOv5

B. Pengujian Sistem

Hasil dari pengujian sistem deteksi katarak menggunakan YOLOv5 mencakup beberapa metrik evaluasi yang penting untuk menilai performa model. Berikut adalah penjelasan mengenai hasil pengujian sistem.

1) Metrik Evaluasi

- Precision* ialah mengukur proporsi prediksi positif yang benar dari semua prediksi positif yang dihasilkan oleh model. *Precision* yang tinggi menunjukkan bahwa model menghasilkan sedikit *false positive*.
- Recall* adalah mengukur proporsi prediksi positif yang benar dari semua objek positif yang sebenarnya. *Recall* yang tinggi menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi sebagian besar objek yang ada.
- F1-Score* adalah rata-rata harmonis dari *precision* dan *recall*. *F1-Score* memberikan gambaran yang lebih baik tentang keseimbangan antara *precision* dan *recall* terutama ketika terdapat ketidakseimbangan kelas dalam dataset.
- mAP (mean Average Precision)* merupakan metrik akurasi model dalam mendeteksi objek pada berbagai threshold IoU (*Intersection over Union*). *mAP@0.5* dan *mAP@0.5:0.95* adalah dua variasi yang umum digunakan untuk mengevaluasi performa model pada berbagai tingkat kesulitan deteksi.

2) Hasil Pengujian:

- Hasil pengujian menunjukkan nilai-nilai dari metrik evaluasi memberikan gambaran tentang seberapa baik model dalam mendeteksi katarak pada gambar mata, misalnya model menunjukkan *precision* sebesar 90%, *recall* 85%, dan *F1-Score* 87.5% menunjukkan performa yang baik dalam mendeteksi katarak.
- Selain itu, nilai *mAP* yang tinggi, seperti *mAP@0.5* mencapai 0.85, menunjukkan bahwa model mampu mendeteksi objek dengan akurasi yang baik pada threshold yang ditentukan.

3) Confusion Matrix

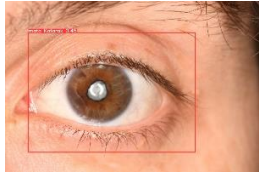
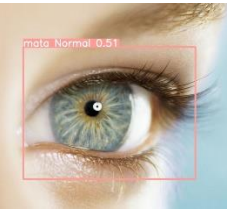
- Confusion matrix* digunakan untuk memberikan gambaran visual tentang kinerja model dalam klasifikasi. Ini menunjukkan jumlah prediksi yang benar dan salah untuk setiap kelas (misalnya, normal dan katarak). Dari *confusion matrix*, dapat dilihat berapa banyak gambar yang terdeteksi dengan benar dan berapa banyak yang salah klasifikasi.

Waktu deteksi juga diukur untuk menilai kecepatan model dalam memproses citra. Model yang baik tidak hanya harus akurat tetapi juga cepat dalam memberikan hasil. Misalnya, waktu deteksi mungkin menunjukkan bahwa model dapat memproses citra

dalam waktu kurang dari 100 ms, yang sangat baik untuk aplikasi real-time.

Setelah pengujian awal, validasi lebih lanjut dilakukan menggunakan dataset yang tidak digunakan sebelumnya untuk memastikan kehandalan dan akurasi model. Hasil dari validasi ini memberikan keyakinan tambahan bahwa model dapat diandalkan dalam situasi nyata. Dengan hasil-hasil ini, sistem deteksi katarak yang dibangun menggunakan YOLOv5 menunjukkan performa yang baik seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sistem

No	Gambar	Label	Akurasi
1		Normal	0,3%
2		Normal	0,3%
3		Katarak	0,61%
4		Katarak	0,45%
5		Normal	0,51%
6		Normal	0,51%

IV. KESIMPULAN

Model YOLOv5 berhasil mencapai tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi katarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma ini mampu mengidentifikasi katarak dengan baik yang dibuktikan

dengan nilai F1-Score sebesar 0,86, *Precision* 0,894, dan *Recall* 0,891. Hal tersebut menunjukkan bahwa model tidak hanya mampu mendeteksi katarak dengan tepat, tetapi juga memiliki kemampuan yang baik dalam menghindari kesalahan deteksi. Waktu deteksi yang dicapai oleh model adalah 0,037 detik per citra menunjukkan bahwa YOLOv5 dapat melakukan deteksi secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Rahma, H. Syaputra, A. H. Mirza, and S. D. Purnamasari, "Objek Deteksi Makanan Khas Palembang Menggunakan Algoritma YOLO (You Only Look Once)," *Jurnal Nasional Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 3, pp. 213–232, 2021, doi: 10.47747/jurnalnrik.v2i3.534.
- [2] M. A. Amrullah and M. I. Irawan, "Implementasi Jaringan Saraf Konvolusional dengan Inception-V3 untuk Deteksi Katarak Menggunakan Gambar Digital Funduskopi," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, vol. 12, no. 1, pp. A27–A33, 2023, doi: 10.12962/j23373520.v12i1.106807.
- [3] A. Rusdy Prasetyo, B. S. Aditya, and Sussi, "Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer Analisis Perbandingan Algoritma Support Vector Machine (Svm) Dan Convolutional Neural Network (Cnn) Untuk Sistem Deteksi Katarak," *Juritek*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [4] A. Roihan, P. A. Sunarya, and A. S. Rafika, "Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper," *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, vol. 5, no. 1, pp. 75–82, 2020, doi: 10.31294/ijcit.v5i1.7951.
- [5] I. M. D. Maleh, R. Teguh, A. S. Sahay, S. Okta, and M. P. Pratama, "Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) Untuk Object Detection Sarang Orang Utan Di Taman Nasional Sebangau," *Jurnal Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 19–27, 2023, doi: 10.31294/inf.v10i1.13922.
- [6] J. Zophie and H. H. Triharminto, "Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) Menggunakan Web Camera Untuk Mendeteksi Objek Statis dan Dinamis," *Jurnal Patriot Biru*, vol. 1, no. 1, pp. 98–110, 2022.
- [7] A. N. Syahrudin and T. Kurniawan, "Input dan output pada bahasa pemrograman python," no. June 2018, 2020.
- [8] M. Nur, I. Muhlashin, and A. Stefanie, "Klasifikasi Penyakit Mata Berdasarkan Citra Fundus Menggunakan YOLOv8," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 7, no. 2, pp. 1363–1368, 2023.
- [9] O. Nurdian, R. Herdiana, I. Ali, M. Melia, and M. Fijriani, "Kinerja Algoritma Convolutional Neural Network dalam Klasifikasi Covid-19 Varian Omicron Berdasarkan Citra Ct-Scan Thoax," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 9, p. 1472, Oct. 2022, doi: 10.30865/jurikom.v9i5.4884.
- [10] L. Setiana Riva, "Deteksi Penyakit Tanaman Cabai Menggunakan Algoritma YOLOv5 Dengan Variasi Pembagian Data," *Jurnal Pengembangan IT (JPIT)*, vol. 8, no. 3, pp. 248–254, 2023.
- [11] R. Indraswari, W. Herulambang, and R. Rokhana, "Deteksi Penyakit Mata Pada Citra Fundus Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN)," *Techno.Com*, vol. 21, no. 2, pp. 378–389, 2022, doi: 10.33633/tc.v21i2.6162.
- [12] B. A. Septyanto, S. A. Wibowo, and C. Setianingsih, "Implementasi Face Recognition Berbasis Deep Neural Network Sebagai Sistem Kendali Pada Quadcopter," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 6, pp. 3036–3050, 2022.