



Pengaruh Variasi Jenis Kamera terhadap Performa Deteksi Drone dan Respon Kendali UAV Menggunakan YOLOv8 dan YOLOv11

Effect of Camera Type Variations on Drone Detection Performance and UAV Control Response Using YOLOv8 and YOLOv11

Nesha Roswanda Sakhdiah & Khazali Fahmi*

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer,
Universitas Pertahanan, Indonesia

*Corresponding Email: khazali.fahmi@idu.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) mendorong kebutuhan sistem deteksi drone yang akurat dan mampu bekerja secara real-time. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis kamera terhadap performa deteksi drone dan respons kendali UAV menggunakan model YOLOv8 dan YOLOv11. Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan lima jenis kamera, yaitu iPhone 12 Pro, MacBook Air M1, Infinix Smart 20, Logitech BCC950, dan Logitech HD720P pada variasi jarak aktual 1–5 m. Parameter yang dianalisis meliputi jarak terdeteksi, Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Frame Per Second (FPS), nilai kendali roll dan pitch, serta sudut elevon kiri dan kanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis kamera memengaruhi akurasi estimasi jarak, kecepatan deteksi, dan keluaran kendali UAV. Kombinasi Logitech BCC950 dengan YOLOv11 menghasilkan akurasi estimasi jarak terbaik dengan MAE 0,34 m dan RMSE 0,39 m, namun memiliki FPS rata-rata rendah. Sebaliknya, Logitech HD720P dengan YOLOv11 menunjukkan performa paling seimbang dengan RMSE rendah dan FPS tinggi. Dengan demikian, pemilihan kamera berperan penting dalam sistem deteksi dan pelacakan drone berbasis visi komputer, terutama untuk aplikasi real-time yang membutuhkan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan pemrosesan.

Kata Kunci: UAV, Deteksi Drone, YOLOv8, YOLOv11, Kamera, FPS, Elevon.

Abstract

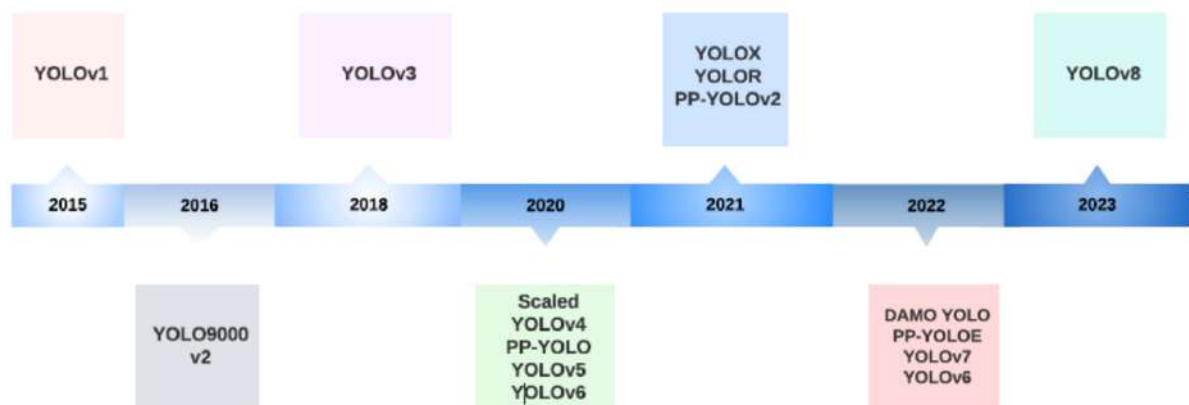
The development of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technology has increased the need for drone detection systems that are accurate and capable of operating in real time. This study aims to analyze the effect of camera type variations on drone detection performance and UAV control response using YOLOv8 and YOLOv11 models. The experiment was conducted using five different cameras, namely iPhone 12 Pro, MacBook Air M1, Infinix Smart 20, Logitech BCC950, and Logitech HD720P, at actual distance variations of 1–5 m. The evaluated parameters included detected distance, Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Frame Per Second (FPS), roll and pitch control values, and left and right elevon angles. The results show that camera type variations affect distance estimation accuracy, detection speed, and UAV control output. The combination of Logitech BCC950 and YOLOv11 produced the best distance estimation accuracy, with an MAE of 0.34 m and an RMSE of 0.39 m, but showed a low average FPS. In contrast, Logitech HD720P with YOLOv11 provided the most balanced performance by maintaining low RMSE and high FPS. Therefore, camera selection plays an important role in vision-based drone detection and tracking systems, particularly for real-time applications that require a balance between accuracy and processing speed.

Keywords: UAV, drone detection, YOLOv8, YOLOv11, camera, FPS, elevon.

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi dan kemajuan perangkat elektronik, teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) berkembang pesat dan semakin banyak diterapkan pada berbagai bidang, seperti pertanian, transportasi, pemantauan wilayah, hingga militer [1]. Meningkatnya penggunaan UAV tidak hanya memberikan berbagai manfaat, tetapi juga menimbulkan tantangan keamanan terkait keberadaan drone yang tidak teridentifikasi atau beroperasi tanpa izin pada suatu wilayah. Oleh karena itu, diperlukan sistem deteksi drone yang mampu bekerja secara akurat dan real-time untuk mendukung proses pemantauan maupun intersepsi target udara. Namun, metode deteksi konvensional umumnya membutuhkan komputasi yang besar, waktu pemrosesan yang lebih lama, serta memiliki kemampuan ekstraksi fitur yang terbatas sehingga kurang optimal dalam mendeteksi target UAV secara cepat dan akurat [2].

Perkembangan teknologi visi komputer dan *deep learning* telah membuka peluang untuk meningkatkan kemampuan deteksi drone secara otomatis. Salah satu algoritma yang banyak digunakan dalam deteksi objek adalah YOLO (You Only Look Once), yang dikenal mampu menghasilkan deteksi secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Berbagai pengembangan pada keluarga YOLO telah dilakukan untuk meningkatkan performa deteksi, kecepatan pemrosesan, dan efisiensi komputasi[3].



Gambar 1. Perkembangan YOLO
Sumber Gambar Yilmas, 2024

Selain itu, optimasi arsitektur YOLO terbukti mampu meningkatkan akurasi deteksi UAV sekaligus mengurangi kompleksitas model sehingga lebih sesuai diterapkan pada perangkat dengan sumber daya komputasi terbatas tanpa mengorbankan kemampuan pemrosesan real-time (Huang et al., 2024).

Pada aplikasi deteksi drone, sistem dituntut untuk mampu mengenali target berukuran kecil yang sering kali muncul pada latar belakang yang kompleks. Kondisi tersebut menjadi tantangan karena objek drone memiliki ukuran yang relatif kecil pada citra sehingga informasi fitur yang dapat diekstraksi menjadi terbatas. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah mengembangkan arsitektur YOLO untuk meningkatkan kemampuan ekstraksi fitur multi-skala, memperkuat representasi semantik, serta mengurangi kesalahan deteksi tanpa menurunkan kecepatan pemrosesan [5], [6], [7]. Selain akurasi deteksi, nilai Frame Per Second (FPS) juga menjadi parameter penting karena menentukan kemampuan sistem dalam memproses perubahan posisi target secara cepat dan berkelanjutan pada aplikasi real-time (Zhao et al., 2024; Zhu et al., n.d.).

Meskipun banyak penelitian berfokus pada pengembangan arsitektur YOLO untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan deteksi, performa sistem visi komputer tidak hanya dipengaruhi oleh algoritma yang digunakan, tetapi juga oleh kualitas citra yang dihasilkan perangkat kamera. Perbedaan karakteristik kamera, seperti resolusi, kualitas sensor, kemampuan menangkap detail objek, dan performa pada berbagai kondisi pencahayaan, berpotensi memengaruhi kualitas deteksi yang dihasilkan. Kualitas citra yang baik memungkinkan fitur objek diekstraksi dengan lebih optimal, sedangkan citra dengan kualitas rendah dapat menyebabkan penurunan akurasi deteksi, terutama pada objek berukuran kecil seperti drone [10].

Pada sistem UAV berbasis visual tracking, hasil deteksi objek tidak hanya digunakan untuk mengidentifikasi target, tetapi juga menjadi masukan bagi sistem kendali penerbangan. Informasi posisi dan jarak target yang diperoleh dari proses deteksi digunakan untuk menghasilkan perintah kendali secara otomatis sehingga UAV mampu menyesuaikan arah dan pergerakannya secara real-time[11]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hasil deteksi dan tracking dapat dimanfaatkan sebagai masukan sistem kendali untuk mengatur pergerakan UAV melalui parameter pitch, roll, serta aktuasi permukaan kendali agar target tetap berada dalam bidang pandang kamera [12]. Dengan demikian, perubahan kualitas deteksi yang disebabkan oleh perbedaan jenis kamera berpotensi memengaruhi performa sistem kendali UAV secara keseluruhan.

Berdasarkan tinjauan penelitian yang telah dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengembangan model deteksi dan peningkatan performa algoritma YOLO, sedangkan kajian mengenai pengaruh variasi jenis kamera terhadap performa

deteksi drone serta dampaknya terhadap respon kendali UAV masih relatif terbatas. Dengan demikian, belum banyak kajian yang secara langsung membandingkan performa model deteksi yang sama pada variasi perangkat kamera berbeda, khususnya ketika hasil deteksi tersebut digunakan sebagai masukan sistem kendali UAV. Oleh karena itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi jenis kamera terhadap akurasi estimasi jarak, kecepatan deteksi, dan respons kendali elevon pada sistem deteksi drone berbasis YOLOv8 dan YOLOv11. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter jarak terdeteksi, FPS, pitch, roll, serta pergerakan elevon kiri dan elevon kanan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh karakteristik kamera terhadap kualitas deteksi dan respon kendali UAV, serta menjadi referensi dalam pemilihan perangkat kamera untuk aplikasi deteksi dan pelacakan drone secara real-time.

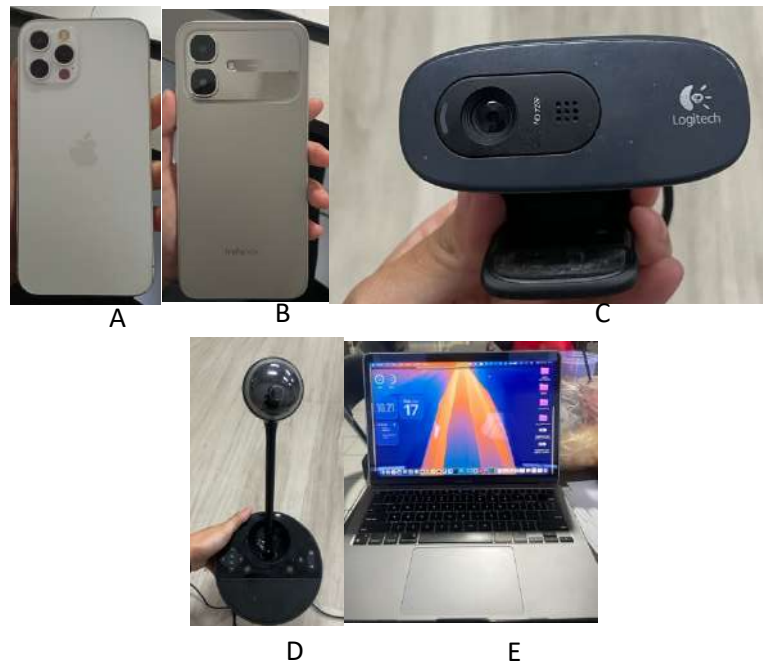
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menganalisis pengaruh variasi jenis kamera terhadap performa deteksi drone menggunakan algoritma YOLOv8 dan YOLOv11. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil deteksi drone yang diperoleh dari beberapa jenis kamera pada kondisi pengujian yang sama. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter jarak terdeteksi, FPS, pitch, roll, elevon kiri, dan elevon kanan yang dihasilkan selama proses pelacakan target.

1. Perangkat dan Bahan Penelitian

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian terdiri atas Drone, komputer pemroses, Arduino Nano sebagai mikrokontroler, dua buah servo SG90 sebagai aktuator elevon kiri dan elevon kanan, serta lima jenis kamera yang digunakan sebagai sumber akuisisi citra, yaitu iPhone 12 Pro, kamera MacBook, Infinix Smart 20, Logitech BCC950, dan Logitech HD720P.

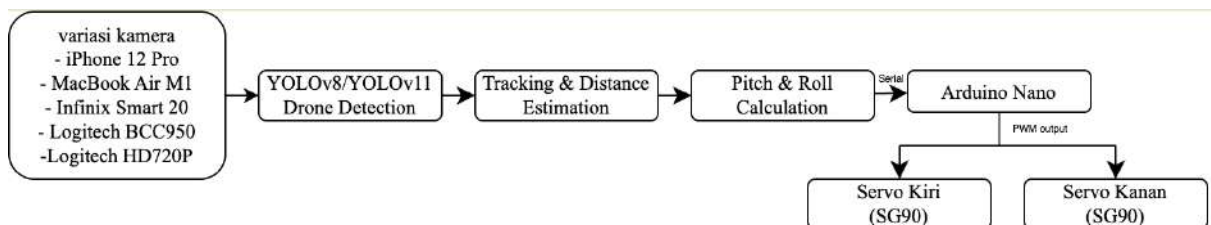
Perangkat lunak yang digunakan meliputi sistem operasi, Python, OpenCV, Arduino IDE, serta model deteksi objek YOLOv8 dan YOLOv11 yang telah dilatih menggunakan dataset drone. Model deteksi digunakan untuk mengenali posisi drone pada citra secara real-time dan menghasilkan data yang digunakan sebagai masukan sistem kendali.



Gambar 2. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian (A) iPhone 12 Pro, (B) Infinix Smart 20 (C) Logitech HD720P, (D) Logitech BCC950, (E) MacBook Air M1

2. Arsitektur Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri atas empat bagian utama, yaitu akuisisi citra, deteksi objek, sistem kendali, dan aktuasi elevon. Kamera digunakan untuk memperoleh citra drone secara real-time yang kemudian diproses menggunakan model YOLOv8 dan YOLOv11. Hasil deteksi berupa posisi target digunakan untuk menghasilkan nilai kendali pitch dan roll. Nilai kendali tersebut dikirimkan dari komputer pemroses ke Arduino Nano melalui komunikasi serial. Selanjutnya Arduino Nano mengolah data yang diterima dan menghasilkan sinyal PWM untuk menggerakkan servo SG90 yang terpasang pada elevon kiri dan elevon kanan. Pergerakan elevon digunakan untuk mensimulasikan respon kendali UAV terhadap perubahan posisi target yang terdeteksi.



Gambar 3. Arsitektur Sistem Penelitian.

3. Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam studi ini dibedakan menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol. Variabel bebas yang digunakan adalah jenis kamera yang

berperan sebagai sumber citra masukan sistem, yaitu iPhone 12 Pro, kamera MacBook, Infinix Smart 20, Logitech BCC950, dan Logitech HD720P.

Variabel terikat merupakan parameter yang diamati sebagai hasil pengaruh perubahan jenis kamera terhadap kinerja sistem. Parameter tersebut meliputi jarak deteksi UAV, nilai FPS, sudut pitch, sudut roll, posisi elevon kiri, dan posisi elevon kanan yang dihasilkan oleh sistem kendali berdasarkan hasil deteksi objek. Untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh jenis kamera yang digunakan, beberapa variabel dikontrol dan dijaga tetap selama penelitian berlangsung. Variabel terkontrol tersebut meliputi model drone yang digunakan, lingkungan pengujian, jarak pengujian, spesifikasi komputer pemroses, Arduino Nano, servo SG90, dataset pelatihan model, serta parameter inferensi YOLO yang digunakan selama proses pengujian.

4. Pelatihan Model Deteksi

Pada penelitian ini digunakan dua model deteksi objek yaitu YOLOv8 dan YOLOv11. Kedua model dilatih menggunakan parameter pelatihan yang sama untuk menjaga objektivitas perbandingan. Parameter tersebut meliputi ukuran citra input, jumlah epoch, batch size, confidence threshold, dan IoU threshold yang dibuat seragam pada YOLOv8 dan YOLOv11. Bobot model terbaik dari masing-masing arsitektur kemudian digunakan pada tahap pengujian sistem secara real-time.

5. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan lima jenis kamera yang berbeda sebagai sumber citra masukan sistem. Masing-masing kamera diuji untuk mendeteksi drone target pada jarak 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m. Pada setiap pengujian, kamera terlebih dahulu dihubungkan ke komputer pemroses yang menjalankan algoritma deteksi objek berbasis YOLOv8 atau YOLOv11. Drone target kemudian ditempatkan pada jarak yang telah ditentukan, sementara sistem melakukan proses deteksi dan pelacakan objek secara real-time.

Koordinat posisi target yang diperoleh dari hasil deteksi selanjutnya diolah untuk menghasilkan nilai pitch dan roll sebagai referensi pergerakan UAV. Nilai tersebut dikirimkan ke Arduino Nano melalui komunikasi serial untuk diproses menjadi sinyal kendali aktuator. Berdasarkan sinyal yang diterima, Arduino Nano mengendalikan dua buah servo SG90 yang berfungsi sebagai elevon kiri dan elevon kanan. Selama proses pengujian berlangsung, data yang meliputi keberhasilan deteksi, jarak deteksi, nilai pitch,

nilai roll, pergerakan elevon, dan FPS dicatat serta disimpan untuk keperluan analisis lebih lanjut. Untuk menjamin validitas dan objektivitas hasil penelitian, seluruh skenario pengujian dilakukan pada kondisi yang sama, termasuk lingkungan pengujian, posisi target, spesifikasi perangkat keras, parameter inferensi model, serta konfigurasi sistem yang digunakan. Dengan demikian, perbedaan hasil yang diperoleh dapat diatribusikan secara langsung pada perbedaan karakteristik kamera yang diuji.

6. Pengambilan Data

Data penelitian diperoleh melalui pengujian sistem deteksi dan pelacakan UAV menggunakan berbagai jenis kamera serta model deteksi yang berbeda. Pada setiap pengujian, drone target ditempatkan pada lima variasi jarak, yaitu 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m dari kamera. Selama proses deteksi berlangsung, sistem secara otomatis merekam beberapa parameter yang digunakan sebagai data penelitian.



Gambar 4. Proses Pengambilan data.

Parameter yang dicatat meliputi jarak aktual target, jarak yang terdeteksi oleh sistem, nilai FPS yang dihasilkan selama proses inferensi, nilai pitch dan roll yang diperoleh dari posisi target pada bidang citra, serta nilai sudut elevon kiri dan elevon kanan yang dihasilkan oleh sistem kendali. Seluruh data tersebut disimpan untuk setiap kombinasi jenis kamera dan model deteksi yang digunakan. Dengan demikian, setiap kombinasi kamera dan model deteksi menghasilkan lima set data pengujian yang merepresentasikan performa sistem pada variasi jarak 1 m hingga 5 m. Data yang terkumpul selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi pengaruh jenis kamera terhadap kemampuan deteksi UAV, kecepatan pemrosesan sistem, serta respons kendali elevon yang dihasilkan.

7. Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dan deskriptif untuk membandingkan performa setiap kamera terhadap model YOLOv8 dan YOLOv11.

Mean Absolute Error (MAE)

MAE digunakan untuk mengetahui rata-rata kesalahan estimasi jarak.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |J_a - J_d|$$

dengan

J_a = jarak aktual (m)

J_d = jarak deteksi (m)

n = jumlah data pengujian

Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE digunakan untuk mengevaluasi tingkat kesalahan estimasi jarak dengan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan yang tinggi.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (J_a - J_d)^2}$$

Selain analisis akurasi jarak, nilai FPS digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan deteksi secara *real-time*. Parameter pitch, roll, elevon kiri, dan elevon kanan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi kamera terhadap respon kendali UAV selama proses pelacakan target. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah perbandingan performa antara jenis kamera dan model deteksi yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Estimasi Jarak Drone

Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis kamera terhadap performa deteksi drone menggunakan model YOLOv8 dan YOLOv11. Pengujian dilakukan pada lima variasi jarak aktual, yaitu 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, dan 5 m. Parameter utama yang

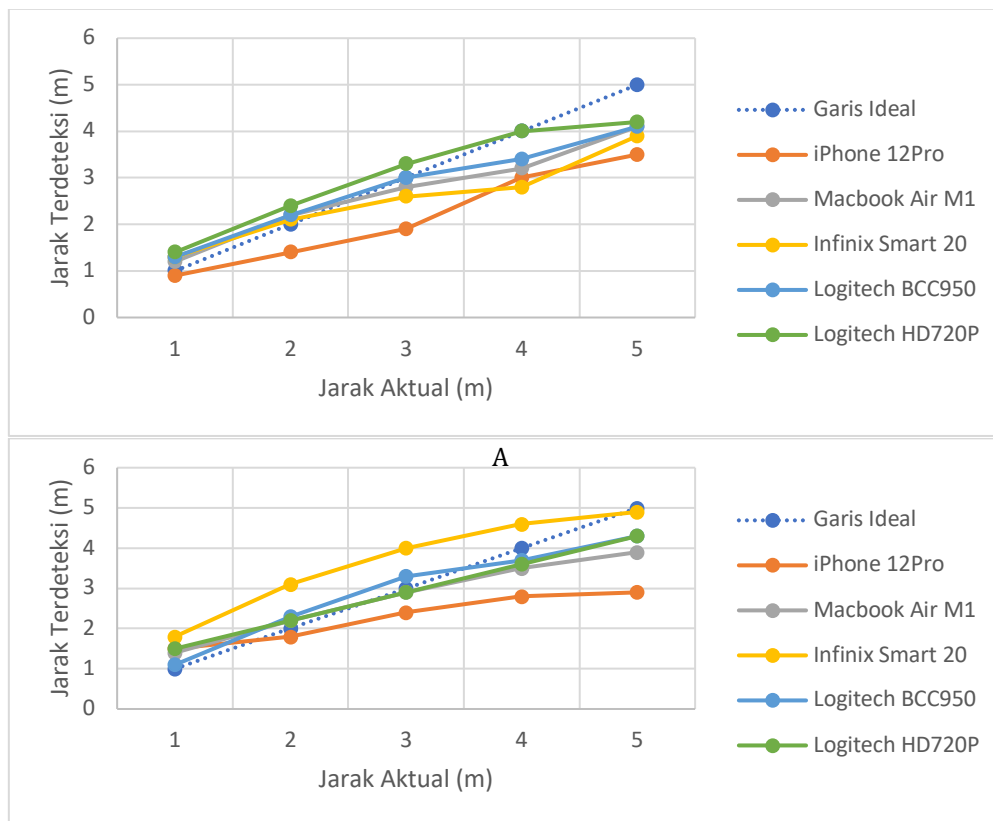
diamati meliputi jarak terdeteksi, FPS, nilai roll, nilai pitch, serta sudut elevon kiri dan kanan sebagai keluaran sistem kendali. Ringkasan hasil estimasi jarak dan FPS rata-rata ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Estimasi Jarak dan FPS Rata-rata pada setiap kombinasi kamera dan model YOLO.

Model	Kamera	Jd 1 m	Jd 2 m	Jd 3 m	Jd 4 m	Jd 5 m	FPS rata rata
YOLOv8	iPhone 12 Pro	0,9	1,4	1,9	3	3,5	15,6
YOLOv11		1,5	1,8	2,4	2,8	2,9	15,4
YOLOv8	Macbook Air M1	1,2	2,2	2,8	3,2	4,1	15,8
YOLOv11		1,4	2,2	2,9	3,5	3,9	15,2
YOLOv8	Infinix Smart 20	1,3	2,1	2,6	2,8	3,9	8
YOLOv11		1,8	3,1	4	4,6	4,9	8,2
YOLOv8	Logitech BCC950	1,3	2,2	3	3,4	4,1	5
YOLOv11		1,1	2,3	3,3	3,7	4,3	4,8
YOLOv8	Logitech HD720P	1,4	2,4	3,3	4	4,2	16
YOLOv11		1,5	2,2	2,9	3,6	4,3	15,8

Hasil pengujian jarak terdeteksi terhadap jarak aktual menunjukkan bahwa setiap kamera menghasilkan karakteristik estimasi jarak yang berbeda. Pada pengujian menggunakan YOLOv8, kamera Logitech HD720P dan Logitech BCC950 menunjukkan pola estimasi yang relatif mendekati garis ideal dibandingkan kamera lainnya. Logitech HD720P mendeteksi jarak 1–5 m masing-masing sebesar 1,4 m, 2,4 m, 3,3 m, 4,0 m, dan 4,2 m, sedangkan Logitech BCC950 mendeteksi sebesar 1,3 m, 2,2 m, 3,0 m, 3,4 m, dan 4,1 m.

Pada pengujian YOLOv11, Logitech BCC950 menghasilkan estimasi jarak yang paling dekat terhadap jarak aktual, yaitu 1,1 m, 2,3 m, 3,3 m, 3,7 m, dan 4,3 m pada jarak aktual 1–5 m. Sementara itu, kamera iPhone 12 Pro cenderung menghasilkan estimasi jarak yang lebih rendah dari jarak aktual, terutama pada jarak 4–5 m. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan underestimation pada kamera tersebut. Perbedaan pola estimasi ini mengindikasikan bahwa karakteristik kamera berpengaruh terhadap kualitas citra yang diterima model deteksi, sehingga memengaruhi hasil estimasi jarak drone.



Gambar 5 Perbandingan jarak aktual dan jarak terdeteksi pada berbagai jenis kamera menggunakan: (a) YOLOv8 dan (b) YOLOv11.

Berdasarkan Gambar 5, kombinasi kamera yang menghasilkan kurva paling dekat dengan garis ideal menunjukkan kemampuan estimasi jarak yang lebih baik. Pada YOLOv8, kamera Logitech HD720P, Logitech BCC950, dan MacBook cenderung menghasilkan estimasi yang lebih mendekati garis ideal dibandingkan iPhone 12 Pro dan Infinix Smart 20. Pada YOLOv11, Logitech BCC950 dan Logitech HD720P menunjukkan pola yang relatif lebih mendekati garis ideal, sedangkan iPhone 12 Pro cenderung berada di bawah garis ideal pada jarak besar. Infinix Smart 20 pada YOLOv11 cenderung berada di atas garis ideal pada jarak awal hingga menengah, sehingga menunjukkan estimasi jarak yang lebih besar daripada jarak aktual.

Analisis Error Estimasi Jarak Berdasarkan MAE dan RMSE

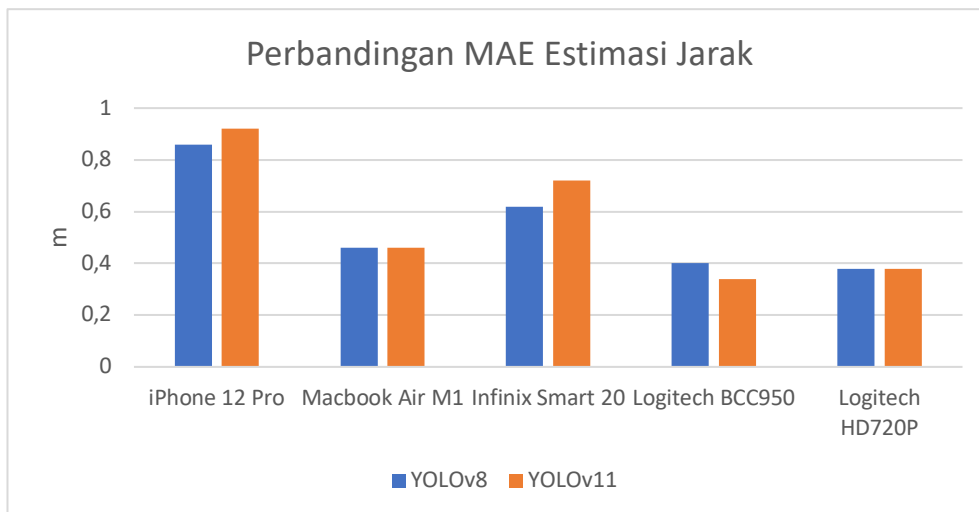
Evaluasi akurasi estimasi jarak dilakukan menggunakan Mean Absolute Error (MAE) dan Root Mean Square Error (RMSE). MAE menunjukkan rata-rata besar kesalahan absolut antara jarak aktual dan jarak terdeteksi. Sementara itu, RMSE memberikan bobot lebih besar terhadap error yang bernilai tinggi, sehingga dapat digunakan untuk melihat pengaruh penyimpangan besar pada hasil estimasi jarak. Nilai MAE dan RMSE yang lebih

kecil menunjukkan performa estimasi jarak yang lebih baik. Hasil perhitungan MAE, RMSE, dan FPS rata-rata ditunjukkan pada Tabel 2.

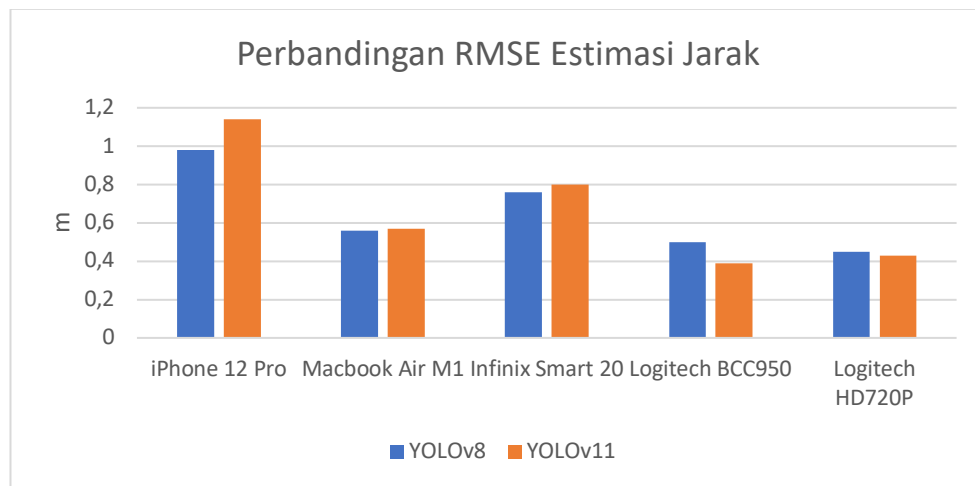
Tabel 2. Nilai MAE, RMSE, dan FPS Rata-rata.

Model	Kamera	MAE (m)	RMSE (m)	FPS rata rata
YOLOv8	iPhone 12 Pro	0,86	0,98	15,6
YOLOv11		0,92	1,14	15,4
YOLOv8	Macbook Air	0,45	0,56	15,8
YOLOv11	Mi	0,46	0,57	15,2
YOLOv8	Infinix Smart	0,62	0,76	8
YOLOv11	20	0,72	0,8	8,2
YOLOv8	Logitech	0,4	0,5	5
YOLOv11	BCC950	0,34	0,39	4,8
YOLOv8	Logitech	0,38	0,45	16
YOLOv11	HD720P	0,38	0,43	15,8

Perbandingan nilai MAE pada setiap kombinasi kamera dan model ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan grafik tersebut, nilai MAE terendah diperoleh pada kombinasi Logitech BCC950 dengan YOLOv11, yaitu sebesar 0,34 m. Nilai ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut memiliki rata-rata kesalahan estimasi jarak paling kecil dibandingkan kombinasi lainnya. Kamera Logitech HD720P juga menunjukkan performa yang baik dengan MAE sebesar 0,38 m pada YOLOv8 maupun YOLOv11. Sementara itu, kamera MacBook menghasilkan MAE sebesar 0,46 m pada kedua model, sehingga dapat dikatakan bahwa performa YOLOv8 dan YOLOv11 pada kamera ini relatif seimbang.



A

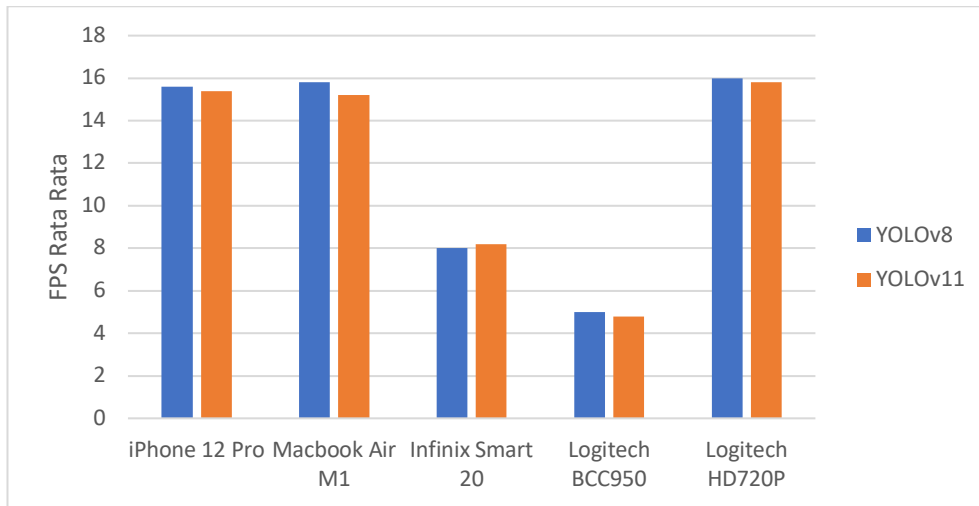


Gambar 6 Perbandingan nilai: (A) MAE dan (B) RMSE estimasi jarak drone pada setiap jenis kamera menggunakan YOLOv8 dan YOLOv11.

Kombinasi Logitech BCC950 dengan YOLOv11 menghasilkan akurasi terbaik dengan nilai MAE sebesar 0,34 m dan RMSE sebesar 0,39 m. Nilai ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut memiliki penyimpangan jarak paling kecil dibandingkan kombinasi lainnya. Kombinasi Logitech HD720P dengan YOLOv11 juga menunjukkan performa yang baik dengan MAE sebesar 0,38 m dan RMSE sebesar 0,43 m. Nilai tersebut hanya sedikit lebih besar dibandingkan Logitech BCC950, tetapi masih lebih baik dibandingkan kamera iPhone 12 Pro, MacBook Air M1, dan Infinix Smart 20. Kamera iPhone 12 Pro menghasilkan error tertinggi, yaitu MAE sebesar 0,86 m pada YOLOv8 dan 0,92 m pada YOLOv11. Hal ini menunjukkan bahwa FPS yang tinggi tidak selalu menjamin akurasi estimasi jarak yang baik.

Analisis FPS dan Kemampuan Real-Time

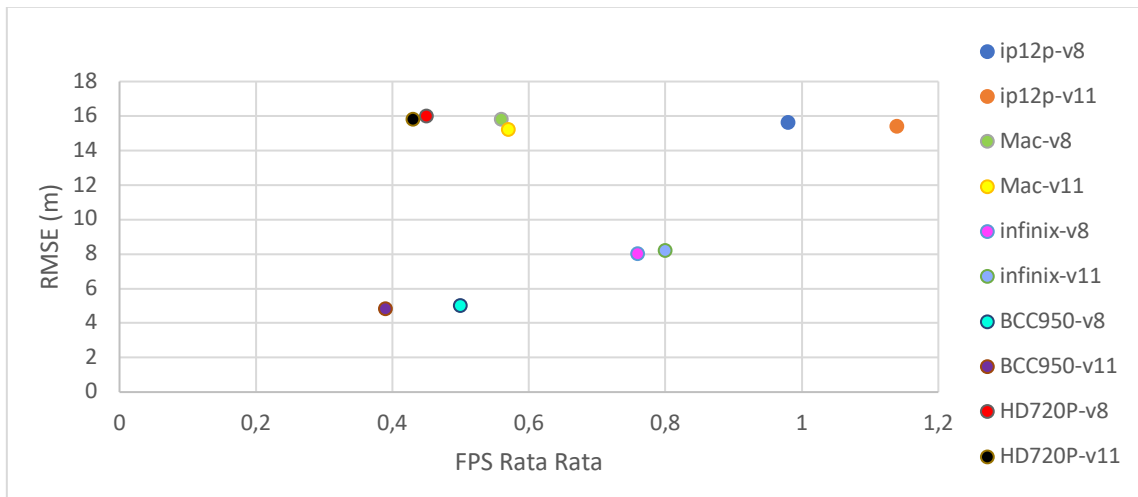
Selain akurasi, FPS digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam melakukan deteksi secara real-time. Berdasarkan hasil pengujian, Logitech HD720P menghasilkan FPS rata-rata tertinggi, yaitu 16 FPS pada YOLOv8 dan 15,8 FPS pada YOLOv11. MacBook Air M1 dan iPhone 12 Pro juga menghasilkan FPS yang relatif tinggi, yaitu sekitar 15 FPS. Sebaliknya, Infinix Smart 20 hanya menghasilkan FPS rata-rata sekitar 8 FPS, sedangkan Logitech BCC950 menghasilkan FPS paling rendah, yaitu 5 FPS pada YOLOv8 dan 4,8 FPS pada YOLOv11.



Gambar 7 Perbandingan FPS Rata-rata pada setiap jenis kamera menggunakan model YOLOv8 dan YOLOv11

Trade-off Akurasi dan Kecepatan

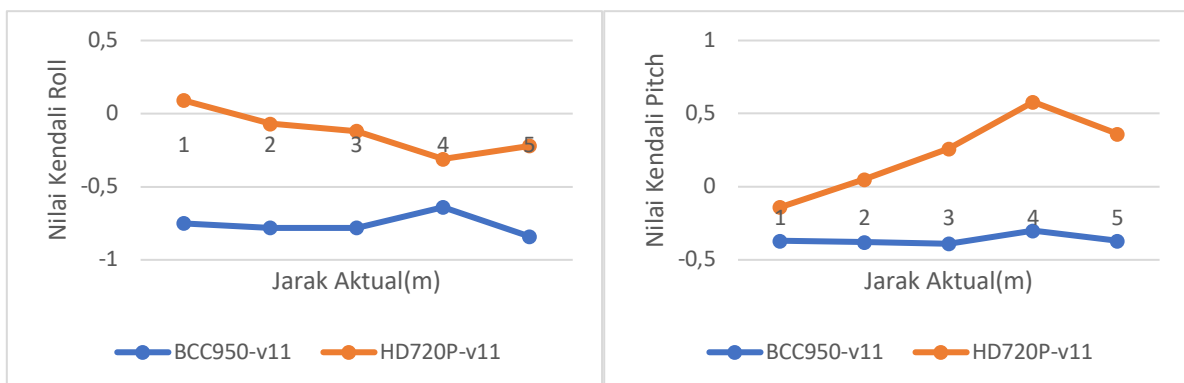
Hubungan antara RMSE dan FPS rata-rata digunakan untuk melihat trade-off antara akurasi dan kecepatan sistem. Pada grafik trade-off, kombinasi yang ideal berada pada posisi RMSE rendah dan FPS tinggi. Berdasarkan Gambar 4, Logitech BCC950 dengan YOLOv11 memiliki RMSE paling rendah sebesar 0,39 m, tetapi FPS rata-ratanya hanya 4,8 FPS. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut unggul dari sisi akurasi, tetapi kurang optimal untuk pemrosesan real-time. Sebaliknya, Logitech HD720P dengan YOLOv11 menghasilkan RMSE sebesar 0,43 m dengan FPS rata-rata 15,8 FPS. Meskipun error-nya sedikit lebih besar dibandingkan Logitech BCC950, nilai FPS yang jauh lebih tinggi menjadikan Logitech HD720P sebagai kombinasi yang lebih seimbang antara akurasi dan kecepatan deteksi. Dengan demikian, Logitech HD720P lebih direkomendasikan untuk aplikasi deteksi drone real-time, sedangkan Logitech BCC950 lebih unggul jika prioritas utama adalah akurasi estimasi jarak.



Gambar 8 Hubungan antara RMSE dan FPS rata-rata sebagai indikator trade-off akurasi dan kecepatan.

Respons kendali Roll dan Pitch

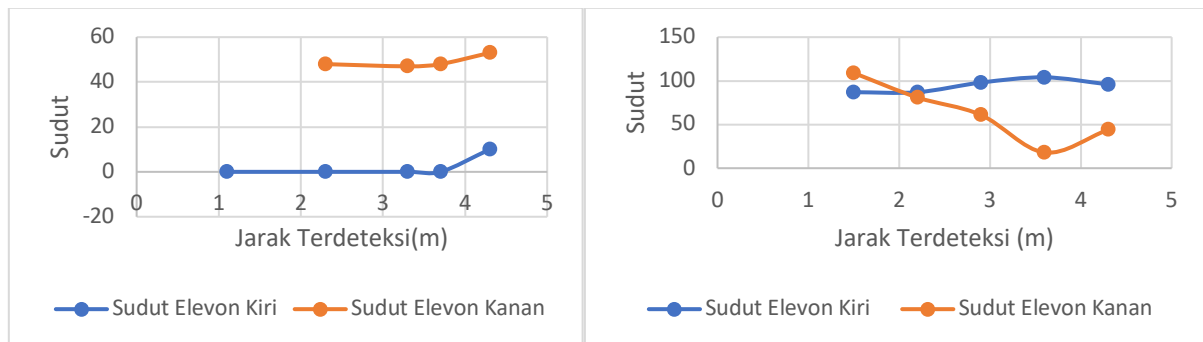
Hasil deteksi drone digunakan sebagai masukan untuk menghasilkan nilai kendali roll dan pitch. Pada bagian ini, pembahasan difokuskan pada dua kombinasi representatif, yaitu Logitech BCC950 dengan YOLOv11 sebagai kombinasi dengan akurasi terbaik dan Logitech HD720P dengan YOLOv11 sebagai kombinasi dengan performa paling seimbang. Pada Logitech BCC950 dengan YOLOv11, nilai roll berada pada rentang -0,84 hingga -0,64, sedangkan nilai pitch berada pada rentang -0,39 hingga -0,30. Nilai tersebut menunjukkan respons kendali yang relatif stabil pada seluruh variasi jarak. Pada Logitech HD720P dengan YOLOv11, nilai roll berada pada rentang -0,31 hingga 0,09, sedangkan nilai pitch berubah dari -0,14 hingga 0,58. Perubahan pitch yang lebih besar menunjukkan bahwa sistem memberikan koreksi kendali yang lebih dinamis terhadap perubahan posisi target yang terdeteksi.



Gambar 9 Perubahan nilai kendali roll dan pitch terhadap variasi jarak aktual pada kombinasi: Logitech (A) BCC950-YOLOv11 dan (B) Logitech HD720P-YOLOv11.

Respon Sudut Elevon

Respons sudut elevon digunakan untuk melihat keluaran aktuator berdasarkan hasil deteksi dan nilai kendali yang dihasilkan sistem. Pada Logitech BCC950 dengan YOLOv11, sudut elevon kiri cenderung berada pada nilai 0° pada sebagian besar variasi jarak, sedangkan sudut elevon kanan berada pada rentang 41° hingga 53° . Hal ini menunjukkan bahwa respons aktuator pada kombinasi tersebut lebih dominan terjadi pada elevon kanan. Pada Logitech HD720P dengan YOLOv11, sudut elevon kiri berada pada rentang 87° hingga 104° , sedangkan sudut elevon kanan berubah dari 109° hingga 18° . Perubahan sudut yang lebih besar pada elevon kanan menunjukkan adanya koreksi aktuator yang lebih signifikan terhadap perubahan hasil deteksi. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi jenis kamera tidak hanya memengaruhi akurasi deteksi, tetapi juga memengaruhi keluaran kendali yang diteruskan ke aktuator elevon



Gambar 10 Respon sudut elevon kiri dan elevon kanan terhadap hasil deteksi pada: Logitech (A) BCC950-YOLOv11 dan (B) Logitech HD720P-YOLOv11.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kamera memberikan pengaruh terhadap performa deteksi drone dan respons kendali UAV. Logitech BCC950 dengan YOLOv11 menghasilkan akurasi estimasi jarak terbaik, tetapi memiliki FPS paling rendah. Logitech HD720P dengan YOLOv11 memberikan performa paling seimbang karena memiliki RMSE rendah dan FPS tinggi. Oleh karena itu, Logitech HD720P lebih potensial digunakan untuk sistem deteksi dan pelacakan drone secara real-time, sedangkan Logitech BCC950 lebih sesuai untuk skenario yang memprioritaskan akurasi estimasi jarak.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi jenis kamera terbukti memengaruhi performa deteksi drone dan keluaran respons kendali UAV pada sistem berbasis YOLOv8 dan

YOLOv11. Perbedaan karakteristik kamera menghasilkan kualitas estimasi jarak, kecepatan pemrosesan, serta keluaran kendali roll, pitch, dan elevon yang berbeda. Secara umum, kamera Logitech BCC950 dengan YOLOv11 menunjukkan akurasi estimasi jarak terbaik, namun memiliki keterbatasan pada kecepatan pemrosesan sehingga kurang optimal untuk kebutuhan real-time. Sebaliknya, Logitech HD720P dengan YOLOv11 menunjukkan performa yang lebih seimbang karena mampu mempertahankan akurasi estimasi jarak yang baik sekaligus menghasilkan FPS yang tinggi. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa perubahan kualitas deteksi berpengaruh terhadap nilai kendali roll, pitch, serta sudut elevon kiri dan kanan, sehingga pemilihan kamera menjadi faktor penting dalam sistem deteksi dan pelacakan drone berbasis visi komputer. Dengan demikian, untuk aplikasi deteksi drone real-time yang mempertimbangkan keseimbangan antara akurasi dan kecepatan, Logitech HD720P menjadi pilihan kamera yang lebih sesuai, sedangkan Logitech BCC950 lebih tepat digunakan pada skenario yang memprioritaskan akurasi estimasi jarak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jessin, C. Heinzlef, N. Long, and D. Serre, "A Systematic Review of UAVs for Island Coastal Environment and Risk Monitoring: Towards a Resilience Assessment," Mar. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/drones7030206.
- [2] P. Jiang, X. Yang, Y. Wan, T. Zeng, M. Nie, and Z. Liu, "DRBD-YOLOv8: A Lightweight and Efficient Anti-UAV Detection Model," *Sensors*, vol. 24, no. 22, Nov. 2024, doi: 10.3390/s24227148.
- [3] B. Yilmaz and U. Kutbay, "YOLOv8-Based Drone Detection: Performance Analysis and Optimization," *Computers*, vol. 13, no. 9, Sep. 2024, doi: 10.3390/computers13090234.
- [4] M. Huang, W. Mi, and Y. Wang, "EDGS-YOLOv8: An Improved YOLOv8 Lightweight UAV Detection Model," *Drones*, vol. 8, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/drones8070337.
- [5] A. Fang, S. Feng, B. Liang, and J. Jiang, "Real-Time Detection of Unauthorized Unmanned Aerial Vehicles Using SEB-YOLOv8s," *Sensors*, vol. 24, no. 12, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24123915.
- [6] J. Li, J. Zhang, Y. Shao, and F. Liu, "SRE-YOLOv8: An Improved UAV Object Detection Model Utilizing Swin Transformer and RE-FPN," *Sensors*, vol. 24, no. 12, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24123918.
- [7] J. Su, Y. Qin, Z. Jia, and B. Liang, "MPE-YOLO: enhanced small target detection in aerial imaging," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-68934-2.
- [8] B. Zhao, Y. Zhou, R. Song, L. Yu, X. Zhang, and J. Liu, "Modular YOLOv8 optimization for real-time UAV maritime rescue object detection," *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-75807-1.
- [9] Y. Zhu, Y. Wang, Y. An, H. Yang, and Y. Pan, "Real-Time Vehicle Detection And Urban Traffic Behavior Analysis Based On Uav Traffic Videos On Mobile Devices."
- [10] Y. Zheng, Y. Jing, J. Zhao, and G. Cui, "LAM-YOLO: Drones-based Small Object Detection on Lighting-Occlusion Attention Mechanism YOLO," Nov. 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2411.00485>
- [11] Z. Du, X. Feng, F. Li, Q. Xian, and Z. Jia, "A Lightweight UAV Visual Obstacle Avoidance Algorithm Based on Improved YOLOv8," *Computers, Materials and Continua*, vol. 81, no. 2, pp. 2607–2627, 2024, doi: 10.32604/cmc.2024.056616.
- [12] A. Barisic, M. Car, and S. Bogdan, "Vision-based system for a real-time detection and following of UAV," in *2019 International Workshop on Research, Education and Development on Unmanned Aerial Systems, RED-UAS 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2019, pp. 156–159. doi: 10.1109/REDUAS47371.2019.8999675.

