

ANALISIS LIMITASI MODEL YOLOv8n PADA SISTEM DETEKSI MANUSIA BERBASIS *CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK* UNTUK PLATFORM *MADAGASCAR HISSING COCKROACH*

Oscar David Sulistya Nugraha¹, Mochammad Ariyanto², Munadi²

¹Mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: oscardavidsulistyan@students.undip.ac.id

Abstrak

Robotika bio-hibrida memanfaatkan serangga hidup, seperti Madagascar hissing cockroach (*Gromphadorhina portentosa*), sebagai platform mobilitas untuk eksplorasi ruang sempit dan misi pencarian korban. Salah satu fungsi fundamental sistem tersebut adalah deteksi manusia secara real-time yang pada penelitian ini diimplementasikan menggunakan model Convolutional Neural Network (CNN) YOLOv8n. Permasalahan utama yang dikaji adalah bahwa keandalan model deteksi sangat dipengaruhi oleh kondisi akuisisi citra di lapangan, sehingga batas operasionalnya perlu dikarakterisasi sebelum diintegrasikan pada platform bergerak. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi limitasi model YOLOv8n terhadap dua faktor lingkungan, yaitu jarak objek dan intensitas pencahayaan. Pengujian dilakukan dengan menempatkan objek pada jarak 50 hingga 400 cm dengan interval 50 cm, pada tiga tingkat pencahayaan (88, 140, dan 185 lux), kemudian merekam hasil deteksi setiap frame selama 15 detik melalui kamera OV2640 yang ditransmisikan ke komputer host. Tiga metrik digunakan untuk mengukur keandalan, yaitu detection rate, mean confidence, dan standar deviasi confidence. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model paling stabil pada intensitas 140 lux dengan detection rate di atas 95% pada rentang 100–300 cm. Pencahayaan rendah (88 lux) menurunkan keberhasilan deteksi secara tajam akibat noise citra, sedangkan pencahayaan tinggi (185 lux) menurunkan kontras pada jarak jauh. Penurunan performa mulai terlihat signifikan pada jarak 350 cm yang ditetapkan sebagai batas awal degradasi. Seluruh nilai mean confidence tetap berada di atas threshold sistem 0,65 sehingga deteksi yang berhasil tetap valid sebagai dasar keputusan navigasi.

Kata kunci: *cyborg insect; deep learning; deteksi manusia; limitasi model; yolov8n*

Abstract

Bio-hybrid robotics utilizes living insects, such as the Madagascar hissing cockroach (*Gromphadorhina portentosa*), as a mobility platform for confined-space exploration and search-and-rescue missions. A fundamental function of such a system is real-time human detection, which in this study is implemented using the Convolutional Neural Network (CNN) model YOLOv8n. The main problem addressed is that detection reliability is strongly affected by on-field image-acquisition conditions, so its operational limits must be characterized before integration onto a moving platform. This study aims to evaluate the limitations of the YOLOv8n model against two environmental factors, namely object distance and lighting intensity. Testing was conducted by placing an object at distances of 50 to 400 cm in 50 cm intervals, under three lighting levels (88, 140, and 185 lux), recording per-frame detection results for 15 seconds through an OV2640 camera transmitted to a host computer. Three metrics were used to measure reliability, namely detection rate, mean confidence, and confidence standard deviation. The results show that the model is most stable at 140 lux with a detection rate above 95% within the 100–300 cm range. Low lighting (88 lux) sharply reduced detection success due to image noise, while high lighting (185 lux) reduced contrast at longer distances. Performance degradation became significant at 350 cm, which is defined as the onset of degradation. All mean confidence values remained above the system threshold of 0.65, so successful detections remain valid as a basis for navigation decisions.

Keywords: *bio-hybrid robot; deep learning; human detection; model limitation; yolov8n*

1. Pendahuluan

Robotika bio-hibrida menawarkan pendekatan alternatif dalam pengembangan sistem robotik melalui pemanfaatan organisme hidup sebagai platform mobilitas. Salah satu implementasinya adalah cyborg insect, yaitu integrasi serangga dengan modul elektronik untuk memungkinkan kontrol gerak terarah. Di antara berbagai spesies yang digunakan, Madagascar hissing cockroach (*Gromphadorhina portentosa*) menjadi kandidat ideal karena ukuran tubuhnya yang besar, daya tahan fisik tinggi, dan kemampuan bergerak stabil pada berbagai jenis permukaan, sehingga berpotensi digunakan untuk misi eksplorasi dan pencarian korban pada area yang sulit dijangkau robot mekanis [2, 3].

Untuk mendukung navigasi semi-otonom pada platform tersebut, diperlukan sistem persepsi visual onboard yang mampu memberikan informasi lingkungan secara real-time. Kemampuan deteksi manusia menjadi salah satu fungsi fundamental untuk identifikasi target pada lingkungan sempit dan kompleks [2]. Kelayakan penerapan sistem visual pada serangga telah dibuktikan melalui implementasi modul kamera nirkabel berbobot ringan pada platform serangga [3], yang menunjukkan bahwa serangga memiliki kapasitas memadai untuk membawa sistem penglihatan tanpa mengganggu mobilitas alaminya.

Untuk memenuhi kebutuhan deteksi manusia yang akurat dan real-time, digunakan pendekatan berbasis deep learning pada bidang computer vision yang mampu mengungguli metode konvensional dalam lingkungan kompleks [1, 9]. Convolutional Neural Network (CNN) merupakan arsitektur deep learning yang dirancang khusus untuk memproses data visual dengan kemampuan ekstraksi fitur secara otomatis dan hierarkis [10]. Di antara berbagai algoritma deteksi objek berbasis CNN, single-stage detector seperti YOLO melakukan prediksi bounding box dan kelas secara langsung dalam satu langkah, sehingga lebih cepat dan efisien untuk aplikasi real-time pada perangkat dengan keterbatasan komputasi [8].

Pada penelitian ini, model yang digunakan sebagai sistem persepsi visual adalah YOLOv8n. Varian Nano dipilih karena memiliki struktur paling ringan pada seri YOLOv8, sehingga sesuai untuk sistem robotik dengan keterbatasan daya dan kebutuhan respons real-time, namun tetap mampu mempertahankan performa deteksi yang efektif, termasuk pada objek berukuran kecil [6, 7]. Meskipun demikian, keandalan model deteksi pada implementasi nyata sangat dipengaruhi oleh kualitas citra yang diterima kamera, yang bergantung pada kondisi akuisisi seperti jarak objek terhadap kamera dan intensitas pencahayaan lingkungan.

Oleh karena itu, sebelum diintegrasikan pada platform bergerak, batas operasional model YOLOv8n perlu dikarakterisasi secara empiris. Penelitian ini berfokus pada evaluasi limitasi model YOLOv8n terhadap variasi jarak dan intensitas pencahayaan, dengan tujuan menentukan rentang kondisi operasi yang masih andal sebagai dasar pengambilan keputusan navigasi pada platform cyborg insect.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Sistem persepsi visual pada platform ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32-S3 dan kamera OV2640 sebagai unit akuisisi citra onboard. Data visual ditransmisikan secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi ke komputer host yang menjalankan proses inferensi model YOLOv8n. Pemilihan kamera OV2640 beresolusi 2 MP didasarkan pada keterbatasan dimensi dan bobot platform agar tidak mengganggu pergerakan alami serangga [13]. Citra masukan model diproses pada resolusi 320×320 piksel untuk membatasi beban komputasi, dengan threshold confidence sistem ditetapkan sebesar 0,65 sebagai ambang validitas deteksi.

2.1 Prosedur Pengujian Limitasi Model

Pengujian dilakukan untuk mengetahui batas maksimal kemampuan model dalam mendeteksi objek terhadap dua variasi, yaitu jarak objek dan intensitas pencahayaan. Objek diletakkan pada jarak tertentu di depan kamera, dimulai dari 50 cm hingga 400 cm dengan interval 50 cm. Intensitas pencahayaan pada posisi objek diukur menggunakan lux meter untuk memastikan nilai yang konsisten pada setiap sesi pengujian, dengan tiga tingkat intensitas yaitu 88, 140, dan 185 lux. Konfigurasi pengujian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi pengaturan jarak objek (kiri) dan pengukuran intensitas cahaya dengan lux meter (kanan)

Pada setiap kombinasi jarak dan pencahayaan, model melakukan deteksi selama 15 detik, dan hasil deteksi tiap frame disimpan dalam berkas CSV. Setelah seluruh jarak diuji pada satu kondisi pencahayaan, prosedur diulang dengan menambah atau mengurangi pencahayaan ruangan.

2.2 Metrik Evaluasi

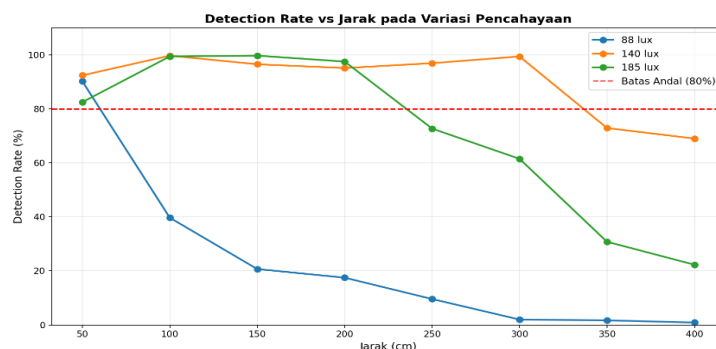
Performa model dievaluasi melalui tiga metrik yang merepresentasikan keandalan dan kestabilan deteksi pada kondisi operasi real-time, yaitu detection rate, mean confidence, dan standar deviasi nilai confidence.

Detection rate mengukur persentase frame yang berhasil mendeteksi objek dari seluruh frame yang direkam, dan menjadi dasar penentuan batas jarak serta pencahayaan maksimum yang masih dapat ditangani sistem. Nilainya dihitung sebagai rasio jumlah frame terdeteksi terhadap total frame dikalikan 100%. *Mean confidence* merupakan nilai rata-rata confidence dari seluruh frame yang berhasil mendeteksi objek; metrik ini penting karena detection rate yang tinggi belum tentu menunjukkan deteksi yang andal apabila confidence yang dihasilkan rendah. Sementara itu, standar deviasi digunakan untuk mengukur sebaran nilai confidence terhadap rata-ratanya, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan deteksi yang lebih konsisten dan stabil pada setiap frame.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Detection Rate

Hasil pengujian menunjukkan bahwa detection rate dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu jarak objek dan intensitas pencahayaan. Dari ketiga variasi pencahayaan yang diuji, intensitas 140 lux menghasilkan performa paling stabil pada rentang jarak yang lebih luas. Sebaliknya, pencahayaan yang terlalu rendah maupun peningkatan jarak objek menyebabkan penurunan tingkat keberhasilan deteksi secara signifikan. Kecenderungan ini lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan data lengkap disajikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Grafik detection rate terhadap jarak pada variasi pencahayaan

Tabel 1. *Detection rate* pada variasi jarak dan intensitas cahaya

Jarak (cm)	88 lux	140 lux	185 lux
50	90,2%	92,4%	82,5%
100	39,7%	99,7%	99,4%
150	20,7%	96,5%	99,7%
200	17,5%	95,1%	97,5%
250	9,6%	96,9%	72,7%
300	2,0%	99,4%	61,5%
350	1,7%	72,9%	30,8%
400	0,9%	69,0%	22,3%

Pada intensitas 140 lux, detection rate berada di atas 95% pada rentang 100–300 cm. Pada jarak 50 cm nilainya relatif lebih rendah karena kamera hanya menangkap sebagian tubuh objek sehingga model belum memperoleh informasi visual yang utuh, sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Ketika jarak bertambah, objek terekam lebih lengkap sehingga model mengenali tubuh manusia dengan lebih konsisten.



Gambar 3. Hasil deteksi pada 140 lux: objek terdeteksi sebagian pada jarak 50 cm (kiri) dan objek utuh pada jarak 200 cm (kanan)

Namun, kestabilan tersebut tidak bertahan pada jarak yang lebih jauh. Pada jarak 350 cm dan 400 cm, detection rate menurun karena ukuran objek dalam citra semakin kecil sehingga detail visual yang dapat dikenali berkurang. Penurunan ini diperparah oleh keterbatasan resolusi kamera OV2640 yang menyebabkan objek pada jarak jauh tidak terekam dengan jelas. Oleh karena itu, jarak 350 cm dapat dianggap sebagai batas awal penurunan performa deteksi sistem.

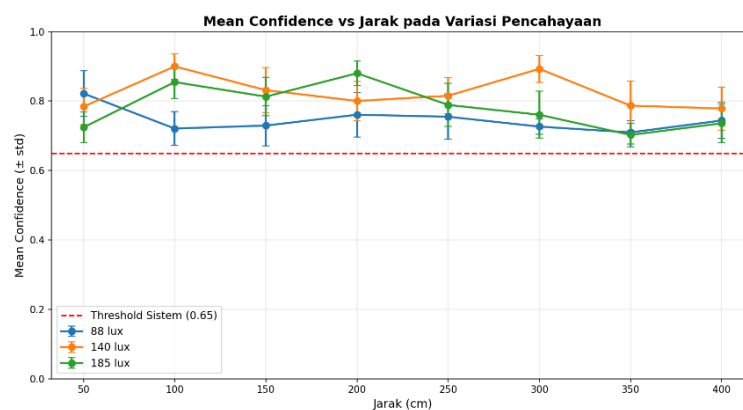
Variasi intensitas cahaya juga memberikan pengaruh yang signifikan. Pada pencahayaan rendah (88 lux), detection rate turun tajam dari 90,2% pada jarak 50 cm menjadi di bawah 10% pada jarak 250 cm, akibat meningkatnya noise citra yang mengurangi kejelasan fitur visual objek. Sebaliknya, pada intensitas 185 lux performa bertahan di atas 97% hingga jarak 200 cm, lalu menurun menjadi 61,5% pada 300 cm karena peningkatan cahaya mengurangi kontras visual pada sebagian permukaan objek, terutama ketika ukuran objek semakin kecil. Perbandingan kualitas deteksi pada kedua kondisi pencahayaan ekstrem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh pencahayaan terhadap kualitas citra: kondisi cahaya rendah 88 lux (kiri) dan cahaya tinggi 185 lux (kanan)

3.2 Mean Confidence dan Standar Deviasi

Selain detection rate, kualitas deteksi dievaluasi melalui nilai mean confidence yang juga dipengaruhi oleh jarak dan intensitas cahaya. Parameter ini menggambarkan tingkat keyakinan model terhadap objek yang berhasil dideteksi, sedangkan standar deviasi merepresentasikan konsistensinya. Hubungan antara mean confidence, jarak, dan intensitas pencahayaan ditunjukkan pada Gambar 5, dengan data lengkap pada Tabel 2.



Gambar 5. Grafik mean confidence terhadap jarak dan variasi cahaya

Tabel 2. Mean confidence (M. conf.) dan standar deviasi (Std) pada setiap variasi jarak dan intensitas cahaya

Jarak	M. conf.	Std	M. conf.	Std	M. conf.	Std
(cm)	88 lux		140 lux		185 lux	
50	0,8218	0,0652	0,7839	0,0519	0,7242	0,0438
100	0,7208	0,0485	0,8999	0,0366	0,8547	0,0471
150	0,7294	0,0581	0,8315	0,0654	0,8127	0,0554
200	0,7607	0,0642	0,8002	0,0567	0,8801	0,0353
250	0,7548	0,0652	0,8153	0,0519	0,7888	0,0624
300	0,7264	0,0226	0,8929	0,0385	0,7605	0,0674
350	0,7097	0,0328	0,7868	0,0705	0,7024	0,0339
400	0,7440	0,0519	0,7784	0,0627	0,7359	0,0554

Seluruh nilai mean confidence berada di atas threshold sistem sebesar 0,65 pada semua variasi jarak dan pencahayaan, sehingga setiap deteksi yang berhasil tetap memenuhi kriteria valid sebagai dasar keputusan navigasi. Intensitas 140 lux kembali menghasilkan performa paling konsisten dengan mean confidence berkisar 0,7784–0,8999 dan standar deviasi 0,0366–0,0705. Hal ini menunjukkan bahwa pada pencahayaan optimal model tidak hanya berhasil mendeteksi objek dengan tingkat keberhasilan tinggi, tetapi juga menghasilkan tingkat keyakinan yang relatif stabil.

Pada pencahayaan rendah (88 lux), nilai mean confidence cenderung lebih rendah karena noise citra menurunkan kejelasan informasi visual, sehingga meskipun objek masih terdeteksi, tingkat keyakinan model menurun. Sebaliknya, pada 185 lux nilai mean confidence berfluktuasi lebih besar akibat penurunan kontras pada sebagian permukaan objek. Faktor jarak turut memengaruhi kualitas deteksi, dengan mean confidence cenderung stabil pada sebagian besar rentang dan baru sedikit menurun pada jarak sangat jauh (350–400 cm) ketika informasi visual objek semakin terbatas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menegaskan bahwa limitasi model YOLOv8n pada sistem ini bukan semata-mata berasal dari arsitektur model, melainkan didominasi oleh degradasi kualitas citra masukan akibat jarak dan pencahayaan. Sistem menunjukkan performa deteksi paling andal pada intensitas 140 lux dengan jangkauan efektif hingga sekitar 300 cm. Temuan ini menjadi acuan penting bahwa kondisi pencahayaan dan jarak target perlu diperhatikan pada implementasi lapangan agar keandalan navigasi cyborg insect tetap terjaga.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengkarakterisasi limitasi operasional model YOLOv8n sebagai sistem deteksi manusia pada platform cyborg insect terhadap variasi jarak dan intensitas pencahayaan. Model menunjukkan keandalan tertinggi pada intensitas 140 lux dengan detection rate di atas 95% pada rentang 100–300 cm, sedangkan pencahayaan rendah (88 lux) menurunkan keberhasilan deteksi secara tajam akibat noise citra dan pencahayaan tinggi (185 lux) menurunkan kontras objek pada jarak jauh. Jarak 350 cm teridentifikasi sebagai batas awal degradasi performa, yang dipengaruhi oleh keterbatasan resolusi kamera. Meskipun demikian, seluruh deteksi yang berhasil tetap menghasilkan mean confidence di atas threshold sistem 0,65 sehingga valid sebagai dasar keputusan navigasi. Dengan demikian, batas operasi yang direkomendasikan untuk implementasi adalah jarak hingga sekitar 300 cm pada pencahayaan sedang, dan kualitas citra masukan menjadi faktor penentu utama keandalan deteksi di lapangan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Janiesch, C., Zschech, P., Heinrich, K., 2021, "Machine Learning and Deep Learning," *Electronic Markets*, 31: 685-695.
- [2] Tran-Ngoc, P. T., Le, D. L., Chong, B. S., dkk., 2023, "Intelligent Insect-Computer Hybrid Robot: Installing Innate Obstacle Negotiation and Onboard Human Detection onto Cyborg Insect," *Advanced Intelligent Systems*, 5(5).
- [3] Li, R., Lin, Q., Tran-Ngoc, P. T., Le, D. L., Sato, H., 2024, "Smart Insect-Computer Hybrid Robots Empowered with Enhanced Obstacle Avoidance Capabilities Using Onboard Monocular Camera," *npj Robotics*, 2(1).
- [4] Diwan, T., Anirudh, G., Tembhurne, J. V., 2023, "Object Detection Using YOLO: Challenges, Architectural Successors, Datasets and Applications," *Multimedia Tools and Applications*, 82(6): 9243-9275.
- [5] Wu, T., Dong, Y., 2023, "YOLO-SE: Improved YOLOv8 for Remote Sensing Object Detection and Recognition," *Applied Sciences*, 13(24).
- [6] Mamadaliev, D., Touko, P. L. M., Kim, J. H., Kim, S. C., 2024, "ESFD-YOLOv8n: Early Smoke and Fire Detection Method Based on an Improved YOLOv8n Model," *Fire*, 7(9).
- [7] Yue, M., Zhang, L., Huang, J., Zhang, H., 2024, "Lightweight and Efficient Tiny-Object Detection Based on Improved YOLOv8n for UAV Aerial Images," *Drones*, 8(7).
- [8] Carranza-Garcia, M., Torres-Mateo, J., Lara-Benitez, P., Garcia-Gutierrez, J., 2021, "On the Performance of One-Stage and Two-Stage Object Detectors in Autonomous Vehicles Using Camera Data," *Remote Sensing*, 13(1): 1-23.
- [9] Zhao, X., Wang, L., Zhang, Y., dkk., 2024, "A Review of Convolutional Neural Networks in Computer Vision," *Artificial Intelligence Review*, 57(4).
- [10] Krichen, M., 2023, "Convolutional Neural Networks: A Survey," *Computers*, 12(8).
- [11] Falaschetti, L., Manoni, L., Palma, L., Pierleoni, P., Turchetti, C., 2024, "Embedded Real-Time Vehicle and Pedestrian Detection Using a Compressed Tiny YOLO v3 Architecture," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 25(12): 19399-19414.
- [12] Jang, W., Jeong, H., Kang, K., Dutt, N., Kim, J. C., 2020, "R-TOD: Real-Time Object Detector with Minimized End-to-End Delay for Autonomous Driving," *Proceedings of the IEEE Real-Time Systems Symposium*, 191-204.
- [13] Salikhov, R. B., Abdrakhmanov, V. K., Safargalin, I. N., 2021, "Internet of Things (IoT) Security Alarms on ESP32-CAM," *Journal of Physics: Conference Series*, 2096(1).

-
- [14] Padilla, R., Netto, S. L., da Silva, E. A. B., 2020, "A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms," IC-UFF.
 - [15] Sarker, I. H., 2021, "Machine Learning: Algorithms, Real-World Applications and Research Directions," SN Computer Science, 2(160).