

ABSTRAK

Ketergantungan pada *external motion capture system* dan penanda fisik masih menjadi kendala utama navigasi otonom kecoa *cyborg*, karena membutuhkan kalibrasi lingkungan kompleks, biaya tinggi, dan berisiko tersangkut rintangan. Penelitian ini mengusulkan sistem navigasi *closed loop* berbasis *markerless pose estimation* menggunakan kamera tunggal *top view* pada ketinggian 1,8 meter untuk mengestimasi sudut hadap *Madagascar hissing cockroach* secara *real time* di arena uji 1,5 x 1,5 meter. Kendali gerak dilakukan via stimulasi elektromekanis: rangsangan antena memicu refleks *obstacle avoidance* untuk mengubah arah, sedangkan rangsangan cerci memicu *escape response* berupa percepatan gerak maju, dengan sinyal dikirim nirkabel via ESP NOW ke *backpack* ESP32 C6. Karena panjang tubuh kecoa hanya sekitar 4 cm dan hanya menempati sekitar 0,133% dari luas arena uji, model YOLOv8n digunakan di awal *pipeline* untuk menghasilkan *bounding box* sebagai dasar *cropping region of interest* agar resolusi *keypoint* tetap terjaga. Model ini dilatih 180 *epoch* menggunakan 240 citra latih dan 60 citra validasi, menghasilkan *precision* 0,997, *recall* 1,000, dan *mAP@0.5* stabil 0,995 tanpa *overfitting*. Tiga model *pose estimation* (YOLO Pose, *Heatmap Hourglass Network*, DeepLabCut) dibandingkan berdasarkan empat faktor: akurasi sudut (MAE, RMSE, R^2), FPS, *inference latency*, dan selisih terhadap *ground truth*. YOLO mencatatkan akurasi tertinggi (MAE 2,75°, R^2 0,9988) dan latensi terendah (31,6 ms), sehingga ditetapkan sebagai model terbaik karena keseimbangan paling optimal. Model terbaik diuji pada tiga skenario lintasan (*zigzag*, belok kanan, belok kiri), masing masing lima percobaan. Seluruh 15 percobaan berhasil mengarahkan kecoa *cyborg* ke titik tujuan tanpa intervensi manual, dengan FPS konsisten di atas 20. Sistem ini terbukti menjadi alternatif navigasi *markerless* yang akurat, portabel, dan efisien biaya bagi kecoa *cyborg*.

Kata kunci: kecoa *cyborg*, *markerless pose estimation*, navigasi *closed loop*, YOLOv8, *bio hybrid robotics*