

ABSTRAK

Perkembangan kecerdasan buatan dan robotika mendorong pengembangan sistem otonom yang mampu belajar serta mengambil keputusan secara mandiri. Namun, implementasi robot fisik berbasis pembelajaran mesin sebagai media pembelajaran interaktif di lingkungan akademik masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan robot Tic-Tac-Toe berbasis *reinforcement learning* yang mampu mempelajari strategi permainan secara mandiri dan menentukan langkah optimal melalui interaksi dengan lingkungan. Sistem dirancang menggunakan Raspberry Pi 3 sebagai unit pemrosesan utama untuk pengolahan citra menggunakan OpenCV sekaligus menjalankan algoritma *Q-Learning*, sedangkan Arduino Mega berfungsi sebagai pengendali aktuator yang menggerakkan motor DC *gearbox* untuk memindahkan simbol ke papan permainan. Proses pembelajaran dilakukan dengan membangun *Q-Table* yang diperbarui berdasarkan nilai *reward* dari setiap tindakan menggunakan persamaan Bellman sehingga robot mampu meningkatkan strategi melalui mekanisme eksplorasi dan eksploitasi. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario permainan melawan pemain manusia untuk mengevaluasi akurasi pembacaan papan, waktu pengambilan keputusan, dan tingkat kemenangan robot. Hasil pengujian menunjukkan robot mampu mengenali kondisi papan secara akurat, mengambil keputusan secara otomatis, serta menjalankan strategi permainan sesuai hasil pembelajaran. Robot juga mampu beradaptasi terhadap berbagai strategi lawan selama proses permainan. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan algoritma *Q-Learning* pada sistem robot fisik dapat menghasilkan perilaku pengambilan keputusan yang efektif. Kontribusi penelitian meliputi pengembangan prototipe robot edukasi berbasis *reinforcement learning*, implementasi algoritma *Q-Learning* pada sistem robotik fisik, serta penyediaan media pembelajaran interaktif untuk mendukung pembelajaran kecerdasan buatan dan robotika.

Kata kunci: Robot Tic-Tac-Toe; *reinforcement learning*; *Q-Learning*; Raspberry Pi; Arduino Mega; sistem otonom; pengolahan citra; robotika edukasi.

ABSTRACT

The advancement of artificial intelligence and robotics has encouraged the development of autonomous systems capable of learning and making decisions without human intervention. However, the implementation of machine learning-based physical robots as educational media remains limited. This research aims to develop a reinforcement learning-based Tic-Tac-Toe robot that can learn game strategies autonomously and make optimal decisions through interaction with the environment. The system integrates a Raspberry Pi 3 for image processing using OpenCV and implementing the Q-Learning algorithm, while an Arduino Mega controls the actuators that drive DC gear motors to place symbols on the game board. Learning is performed by updating a Q-Table according to rewards obtained from each action using the Bellman equation, enabling the robot to improve its strategy through exploration and exploitation. Performance evaluation was conducted by measuring board recognition accuracy, decision-making time, and win rate against human players. The results show that the robot successfully recognizes the game board, makes autonomous decisions, and adapts to different opponent strategies. This study demonstrates that the implementation of Q-Learning on a physical robotic platform effectively supports autonomous decision-making. The developed system contributes to robotics education by providing an educational robot prototype, demonstrating the practical application of reinforcement learning on embedded hardware, and offering an interactive learning platform for students and researchers.

Keywords: *Tic-Tac-Toe robot; reinforcement learning; Q-Learning; Raspberry Pi; Arduino Mega; autonomous system; image processing; educational robotics.*