UNIVERSITAS
GADJAH MADA
INTEGRASI RECURENT NEURAL NETWORK DAN DEEP Q-NETWORK UNTUK KENDALI IRIGASI PRESISI
FRANSISKUS SERFIAN JOGO, Prof. Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D. ; Dr. I Wayan Mustika, S.T., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRAK

Irigasi pertanian menyumbang sebagian besar konsumsi air global, sehingga memerlukan strategi irigasi yang cerdas. Sistem konvensional—seperti irigasi tetap dan sistem kendali berbasis evapotranspirasi (ET)—seringkali menunjukkan inefisiensi karena mengandalkan pengukuran statis dan pengetahuan petani empiris, serta kurang memiliki kemampuan pengambilan keputusan adaptif.

Untuk mengatasi tantangan ini, studi ini menyajikan kerangka kerja berbasis IoT yang mengintegrasikan *Recurrent Neural Networks* (RNN) untuk prediksi cuaca multi-parameter dan *Deep Q-Networks* (DQN) untuk keputusan irigasi adaptif dalam sebuah sistem *closed-loop* yang diimplementasikan pada perangkat *edge* (Raspberry Pi). Arsitektur ini dirancang melalui tiga fase utama, yaitu (1) *Development & Training Process*, di mana model RNN dilatih menggunakan data historis NASA POWER untuk memprediksi radiasi matahari, curah hujan, dan Evapotranspirasi (ETo) dengan *sliding window* 7 hari, (2) *Deployment*, di mana model yang telah dilatih diimplementasikan pada Raspberry Pi untuk inferensi *real-time*; dan (3) *Testing & Implementation* pada *experimental testbed* tanaman tomat. Agen DQN belajar kebijakan irigasi melalui interaksi dengan lingkungan simulasi menggunakan fungsi reward yang dirancang untuk mempertahankan kelembaban tanah dalam rentang optimal antara *Field Capacity* (V_{FC} = 80%) dan *Management Allowable Depletion* (V_{MAD}= 50%), sekaligus meminimalkan penggunaan air.

RNN mencapai perkiraan presisi tinggi untuk radiasi matahari, curah hujan, dan evapotranspirasi referensi (ETo) dengan koefisien determinasi (R^2) masing-masing 0,819, 0,915, dan 0,892, melampaui tolok ukur *deep learning* lainnya. Secara bersamaan, agen DQN mempelajari kebijakan irigasi yang mengurangi konsumsi air sebesar 16,6–25,3% dibandingkan dengan metode konvensional sambil mempertahankan kelembaban tanah setelah irigasi di atas ambang batas kritis ($V_{\text{MAD}} = 0.50$) dalam eksperimen di testbed. Arsitektur RNN-DQN yang diusulkan menunjukkan peningkatan signifikan dalam efisiensi penggunaan air dan pemeliharaan kesehatan tanaman, menawarkan solusi yang kuat untuk pertanian cerdas di daerah gersang yang terbatas air dan kekurangan data.

Kata kunci—*Recurrent Neural Network* (RNNs),*Deep Q-Networks*(DQNs), Irigasi Presisi, Efisiensi Penggunaan Air.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
INTEGRASI RECURENT NEURAL NETWORK DAN DEEP Q-NETWORK UNTUK KENDALI IRIGASI PRESISI
FRANSISKUS SERFIAN JOGO, Prof. Ir. Oyas Wahyunggoro, M.T., Ph.D. ; Dr. I Wayan Mustika, S.T., M.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Agricultural irrigation accounts for a substantial portion of global water consumption, necessitating intelligent irrigation strategies. Conventional systems—such as fixed irrigation or evapotranspiration (ET)-based control often exhibit inefficiencies due to reliance on static measurements and empirical farmer knowledge, lacking adaptive decision-making capabilities.

To address these challenges, this study presents an IoT-based framework that integrates Recurrent Neural Networks (RNNs) for multi-parameter weather prediction and Deep Q-Networks (DQNs) for adaptive irrigation decisions within a closed-loop system implemented on an edge device (Raspberry Pi). This architecture was designed through three main phases: (1) the Development & Training Process, where the RNN model was trained using historical NASA POWER data to predict solar radiation, rainfall, and Evapotranspiration (ETo) with a 7-day sliding window; (2) Deployment, where the trained model was implemented on a Raspberry Pi for real-time inference; and (3) Testing & Implementation on an experimental tomato plant testbed. The DQN agent learned the irrigation policy through interaction with the simulated environment using a reward function designed to maintain soil moisture within the optimal range between field capacity (V_{FC} = 80%) and Management Allowable Depletion (V_{MAD}= 50%), while minimizing water usage.

The RNN achieves high-precision forecasts for solar radiation, rainfall, and reference evapotranspiration (ETo) with determination coefficients (R^2) of 0.819, 0.915, and 0.892, respectively, surpassing other deep learning benchmarks. Simultaneously, the DQN agent learns irrigation policies that reduce water consumption by 16.6-25.3% compared to conventional methods while maintaining post-irrigation soil moisture above the critical threshold ($V_{\text{MAD}} = 0.50$) in testbed experiments. The proposed RNN-DQN architecture demonstrates significant improvements in water-use efficiency and plant health maintenance, offering a robust solution for smart agriculture in water-limited, data-scarce arid regions.

Keywords—Recurrent Neural Network (RNN), Deep Q-Network (DQN), Precision Irrigation, Water-Use Efficiency.