

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem navigasi robot mobile berbasis *Reinforcement learning* menggunakan algoritma *Q-Learning* berhasil dirancang dan diimplementasikan pada lingkungan grid tanpa menggunakan garis pandu fisik. Robot mampu melakukan navigasi secara otonom dengan menentukan aksi *Forward*, *Turn Left*, dan *Turn Right* berdasarkan *policy* yang diperoleh dari hasil proses *training*.
2. Representasi state, *action*, dan *reward* yang dirancang berhasil digunakan dalam proses pembelajaran *Q-Learning*. State direpresentasikan berdasarkan posisi robot pada grid, orientasi robot, dan tujuan navigasi, sedangkan aksi terdiri atas *Forward*, *Turn Left*, dan *Turn Right*. Proses pembentukan state didukung oleh integrasi data Hall Effect Encoder sebagai sensor odometri, MPU6050 sebagai sensor orientasi, serta sensor proximity sebagai pendeteksi obstacle. Kombinasi representasi tersebut mampu mendukung proses pengambilan keputusan navigasi sesuai kondisi lingkungan.
3. Proses pembelajaran algoritma *Q-Learning* pada tahap simulasi menunjukkan bahwa agen berhasil mempelajari kebijakan navigasi yang optimal. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan nilai *reward*, penurunan jumlah langkah (*step*) menuju tujuan, serta terbentuknya Q-Table dan *policy* yang stabil setelah proses *training*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa robot mampu menentukan jalur menuju tujuan serta kembali ke posisi awal sesuai kebijakan hasil pembelajaran.
4. Policy hasil *training* algoritma *Q-Learning* berhasil diimplementasikan pada robot nyata. Hall Effect Encoder menghasilkan rata-rata *encoder estimation error* sebesar 3,57%, sedangkan sistem menghasilkan *endpoint motion error* sebesar 1,30% terhadap target perpindahan satu grid, sedangkan pengujian MPU6050 menunjukkan *error heading* maksimum

1,43°, *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,86°, serta *error* rotasi rata-rata 1,09° pada belok kanan dan 1,16° pada belok kiri. Meskipun pada implementasi navigasi ditemukan fluktuasi pembacaan heading MPU6050 yang menyebabkan deviasi posisi pada beberapa pengujian, robot tetap mampu menjalankan *policy* dengan benar dan mencapai seluruh tujuan. Selain itu, sensor proximity E18-D80NK mampu mendeteksi *obstacle* hingga jarak 50 cm sehingga mendukung keselamatan navigasi robot.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma *Q-Learning* berhasil diimplementasikan pada sistem navigasi robot *mobile*. Integrasi *Hall Effect Encoder*, MPU6050, dan sensor *proximity* mampu mendukung penerapan *policy* hasil pembelajaran sehingga robot dapat melakukan navigasi secara otonom pada lingkungan *grid* terstruktur dengan performa yang baik.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan sensor orientasi dengan tingkat stabilitas yang lebih baik atau melakukan optimasi sistem kendali agar pembacaan heading lebih konsisten, sehingga robot mampu bergerak lurus dan melakukan manuver belok dengan akurasi yang lebih tinggi.
2. Menambahkan sensor obstacle pada sisi kanan dan kiri robot atau menggunakan sensor dengan cakupan area deteksi yang lebih luas agar kemampuan deteksi obstacle menjadi lebih optimal.
3. Mengembangkan lingkungan navigasi dengan jumlah grid, obstacle, maupun tujuan yang lebih kompleks sehingga performa algoritma *Q-Learning* dapat dievaluasi pada kondisi yang lebih mendekati lingkungan nyata.
4. Mengimplementasikan metode *Deep Reinforcement learning*, seperti Deep Q-Network (DQN), sehingga sistem dapat menangani ruang *state* yang lebih besar dan lingkungan yang lebih dinamis.