

PENGEMBANGAN SISTEM MEKANIKA DAN DINAMIKA PADA ROBOT EDUKASI BERBASIS IOT DAN ESP32

A Rofi'i¹, FE Purnomo^{2*)}, M. Irwan Nari³, N Afianah⁴, S Kautsar⁵, AW Pratama⁶, AW Winardi⁷,
SL Putri⁸, FL Afriansyah⁹, NZ Fanani¹⁰, HAP Koesacep¹¹, H Nafsiyah¹² dan M Kindi¹³

^{1,2,3,4,5,6,7,8,10, 11, 12, 13} Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember
⁹ Jurusan Teknologi Informasi Politeknik Negeri Jember

*) E-mail: fendik_eko@polije.ac.id

Abstrak

Fokus penelitian adalah mengembangkan mekanika dan dinamika pada robot edukasi berbasis IoT dan ESP32 serta memperkenalkan robotika sebagai media yang efektif dalam pembelajaran. Robot ini dikontrol menggunakan mikrokontroler ESP32 dan terhubung ke aplikasi Android melalui basis data cloud Firebase. Dengan platform IoT, pelatihan dapat dilakukan yang memungkinkan siswa untuk mengendalikan robot dari jarak jauh saat robot berada di lokasi pelatihan. Robot pengangkut dirancang untuk memberikan pengalaman belajar robotika yang interaktif yang memungkinkan siswa untuk memahami konsep dasar dalam robotika, pemrograman dan sistem kontrol. Sistem penggerak diferensial menawarkan kemampuan manuver yang sangat baik, sementara lengan pengangkat memungkinkan robot untuk melakukan tugas-tugas seperti mengangkat dan memindahkan objek, menambahkan aspek fungsional pada proses pembelajaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot bekerja dengan baik di bawah kendali daring, dengan respons yang cepat dan akurat terhadap perintah dari aplikasi Android. Implementasi ini tidak hanya meningkatkan aksesibilitas pelatihan robotika tetapi juga mengembangkan keterampilan dengan cara yang lebih fleksibel dan terjangkau. Studi ini menyimpulkan bahwa robot transporter berbasis ESP32 dengan kontrol daring melalui aplikasi android basis data cloud Firebase menjadi alat pembelajaran yang efektif dan inovatif.

Kata kunci: mekanika dan dinamika, robot edukasi, IoT, ESP32

Abstract

The focus of the research is to develop mechanics and dynamics in IoT and ESP32-based educational robots and introduce robotics as an effective medium for learning. This robot is controlled using an ESP32 microcontroller and connected to an Android application via the Firebase cloud database. With an IoT platform, training can be carried out which allows students to control the robot remotely while the robot is at the training location. Transport robots are designed to provide an interactive robotics learning experience that allows students to understand basic concepts in robotics, programming and control systems. The differential drive system offers excellent maneuverability, while the lifting arm allows the robot to perform tasks such as lifting and moving objects, adding a functional aspect to the learning process. Test results show that the robot performs well under online control, with fast and accurate responses to commands from the Android app. This implementation not only increases the accessibility of robotics training but also develops skills in a more flexible and affordable way. This study concludes that the ESP32-based robot transporter with online control via the Firebase cloud database android application is an effective and innovative learning tool.

Keywords: mechanics and dynamics, educational robots, IoT, ESP32

1. Pendahuluan

Dengan pesatnya sistem informasi komunikasi dengan diiringi dengan semakin berkembangnya kecerdasan buatan, robot menjadi salah satu topik penelitian yang tidak hanya menjadi bahan kajian tapi sampai pada penerapan di segala bidang kehidupan. Salah satu yang di bidang pendidikan atau yang lebih dikenal dengan robot edukasi. Banyak peneliti mengakui bahwa robot menjadi alat pembelajaran yang sangat inovatif dan mampu mengubah

pendekatan lebih kreatif dan pada lingkungan belajar yang berbeda [1][2][3]. Dalam temuan yang lain juga menunjukkan bahwa robot edukasi dapat meningkatkan skill siswa dalam problem solving, kreativitas, kolaborasi, berpikir kritis dan berpikir logis [4]. Beberapa temuan dan hasil analisis juga menunjukkan bahwa robot edukasi juga teridentifikasi potensi efektivitas positif dan pembelajaran yang mengarah pada keaktifan dan optimalisasi dalam mencapai hasil yang maksimal [5][6]. Dari berbagai macam argumen tersebut menunjukkan bahwa robot

edukasi dapat meningkatkan berbagai keterampilan siswa seperti pemecahan masalah, kreativitas, keterampilan kolaborasi/kooperatif, serta pemikiran komputasional. Namun dalam penerapannya terdapat permasalahan, terutama permasalahan pada aspek kinematika dan dinamika pada pergerakan robot edukasi. Permasalahan tersebut sudah menjadi bahan kajian tertentu dalam skala penelitian di bidang robotika. Beberapa kasus terlihat pada sistem penentuan posisi dan jarak tempuh robot terutama pada bidang datar. Pergerakan robot dapat bergerak sesuai koordinat yang telah ditentukan namun kadang tidak dapat berhenti tepat pada koordinat tersebut [7]. Hal tersebut disebabkan karena terjadi selip pada rotary dan roda robot untuk menentukan posisi secara akurat sehingga diperlukan arah dan putaran gerak pada sistem odometry.

Keterbaruan pada penelitian sangat memperhatikan permasalahan dalam segi mekanika dan dinamika dan pentingnya robot edukasi, maka perlu dirancang robot edukasi yang dilengkapi dengan sistem penggerak diferensial [8]. Robot yang dirancang bukan sekadar alat demonstrasi sederhana pada proses yang dilakukan selama pembelajaran tetapi platform interaktif yang memungkinkan siswa terlibat langsung dalam proses pembelajaran. Fitur utama robot ini adalah lengan seperti forklift yang mampu mengangkat dan memindahkan objek. Fitur ini memberi siswa pengalaman praktis dalam mengendalikan robot dan memanipulasi objek, sehingga mereka dapat memahami prinsip dasar robotika, seperti mekanika, kontrol, dan interaksi manusia-mesin.

Robot ini menggunakan pengontrol ESP32, yang menawarkan kemampuan konektivitas yang luas, termasuk kendali jarak jauh melalui aplikasi Android yang terhubung ke internet [9]. Integrasi dengan Firebase [10] memungkinkan kendali jarak jauh terhadap robot, yang memberikan fleksibilitas dalam proses pembelajaran, terutama dalam situasi di mana pembelajaran tatap muka tidak memungkinkan. Fitur ini sangat relevan di tengah pandemi global, yang telah mempercepat adopsi pembelajaran jarak jauh dan teknologi digital dalam pendidikan. Selain itu, robot dapat dikontrol melalui Bluetooth, yang menawarkan opsi kontrol yang lebih sederhana dan lebih langsung untuk pembelajaran luring. Kemampuan ini memastikan bahwa robot dapat digunakan dalam berbagai konteks pembelajaran, baik di kelas maupun di rumah.

Arena pembelajaran dirancang terdiri dari lintasan kisi-kisi dengan jarak 20 cm di antara garis-garisnya. Desain ini tidak hanya menyediakan struktur yang jelas untuk pergerakan robot, tetapi juga menantang siswa untuk merencanakan dan menerapkan strategi navigasi yang efektif. Tugas siswa adalah memindahkan objek secara acak dari satu ujung kisi-kisi ke ujung lainnya, mensimulasikan skenario dunia nyata tempat robot digunakan untuk mengangkut barang di lingkungan

industri atau logistik [11][12]. Aktivitas ini mendorong siswa untuk berpikir secara logis dan strategis serta memahami pentingnya presisi dan koordinasi dalam pengendalian robot.

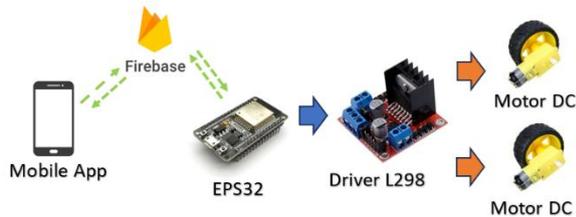
Melalui penelitian ini, dapat dilakukan evaluasi terhadap efektivitas penggunaan robot sebagai support system dalam membantu pembelajaran yang efektif dan optimal. Selain itu, penelitian ini merupakan bagian integrasi teknologi modern, seperti kendali jarak jauh dan aplikasi berbasis internet, dapat memperkaya pengalaman belajar siswa [13].

2. Metode

Sistem penggerak diferensial merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menggerakkan robot bergerak. Sistem ini terdiri dari dua roda yang dipasang di sisi kanan dan kiri robot, yang masing-masing digerakkan oleh motornya sendiri. Dengan menyesuaikan kecepatan putaran kedua roda, robot dapat bergerak maju, mundur, atau berputar dengan cara yang sederhana dan efisien. Dalam sistem penggerak diferensial, arah robot diubah dengan memvariasikan kecepatan relatif antara roda kiri dan kanan. Misalnya, untuk bergerak lurus, kedua roda berputar dengan kecepatan yang sama. Untuk berputar, kecepatan satu roda ditingkatkan sementara roda lainnya diperlambat atau diputar ke arah yang berlawanan. Jika satu roda bergerak maju dan roda lainnya bergerak mundur dengan kecepatan yang sama, robot akan berputar di tempat.

Keunggulan utama dari sistem penggerak diferensial adalah kesederhanaannya dan kemampuannya untuk melakukan manuver tajam di ruang terbatas. Sistem ini juga memungkinkan kontrol yang tepat dan responsif, sehingga ideal untuk berbagai aplikasi, mulai dari robot pembersih rumah tangga hingga kendaraan otomatis di pabrik dan gudang. Namun, sistem ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah ketidakmampuan untuk bergerak ke samping tanpa melakukan manuver belok, yang membedakannya dari sistem penggerak omnidirectional. Selain itu, sistem ini memerlukan algoritma kontrol yang baik, seperti pengontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) [9], untuk memastikan stabilitas dan akurasi gerakan, terutama saat melakukan tugas yang membutuhkan presisi tinggi. Dengan memahami prinsip dasar dan karakteristik sistem penggerak diferensial, pengembang robot dapat merancang dan mengimplementasikan robot bergerak yang efektif dan efisien untuk berbagai keperluan industri dan pendidikan. Gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem kontrol untuk robot yang menggunakan sistem penggerak diferensial yang dikontrol melalui aplikasi seluler. Dalam sistem ini, aplikasi seluler berfungsi sebagai antarmuka utama bagi pengguna, yang memungkinkan mereka untuk mengeluarkan perintah kontrol secara intuitif. Perintah yang diberikan oleh pengguna melalui aplikasi kemudian

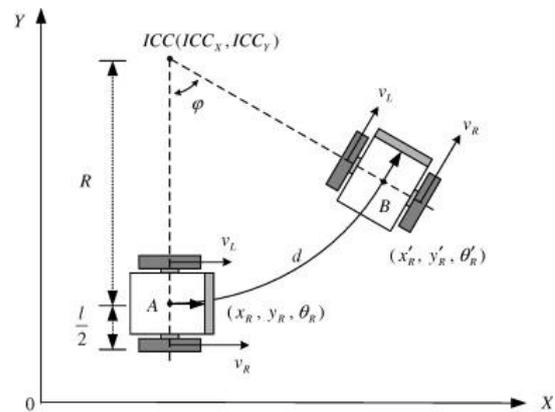
diteruskan ke Firebase, platform cloud yang bertindak sebagai perantara antara aplikasi seluler dan mikrokontroler yang digunakan dalam robot. Firebase berfungsi sebagai media penyimpanan dan transmisi data waktu nyata, yang memungkinkan komunikasi yang lancar dan responsif antara perangkat seluler dan robot, bahkan dari jarak jauh.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Selanjutnya, mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan Firebase menerima data kontrol yang telah diolah. ESP32 dilengkapi dengan konektivitas Wi-Fi, yang memungkinkan robot terhubung ke internet dan menerima perintah dari Firebase. Setelah menerima perintah tersebut, ESP32 memproses data dan meneruskannya ke driver motor L298. Modul driver L298 bertanggung jawab untuk mengendalikan motor DC berdasarkan sinyal yang diterima dari ESP32. Modul ini dapat mengendalikan dua motor DC secara independen, yang masing-masing terhubung ke roda kanan dan kiri robot. Dengan menyesuaikan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) yang dikirim ke driver motor, ESP32 dapat mengatur kecepatan dan arah setiap motor secara tepat.

Motor DC yang dikontrol oleh driver L298 kemudian menggerakkan roda robot. Dengan menyesuaikan kecepatan relatif antara roda kanan dan kiri, sistem penggerak diferensial ini memungkinkan robot bergerak maju, mundur, atau berputar secara efisien dan mudah [10]. Misalnya, untuk bergerak lurus, kedua roda digerakkan pada kecepatan yang sama, sedangkan untuk berputar, kecepatan satu roda disesuaikan. Kemampuan ini memungkinkan robot untuk melakukan berbagai manuver, termasuk berputar di tempat dengan menggerakkan satu roda ke depan dan yang lainnya ke belakang. Sistem ini tidak hanya memberikan kemudahan kendali jarak jauh melalui konektivitas internet tetapi juga menawarkan fleksibilitas di berbagai lingkungan. Dengan memanfaatkan Firebase sebagai media komunikasi, pengguna dapat mengendalikan robot dari lokasi yang jauh, menjadikannya ideal untuk demonstrasi pendidikan, eksperimen robotika, atau aplikasi praktis seperti otomatisasi rumah atau industri. Dengan demikian, arsitektur ini menawarkan solusi yang komprehensif dan inovatif untuk kontrol robot, mengintegrasikan teknologi seluler, komputasi awan, dan kontrol motor ke dalam satu sistem yang kohesif [14]

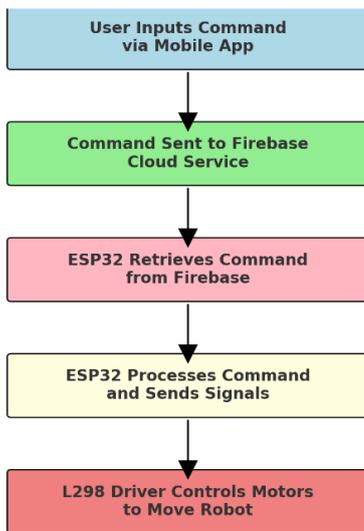


Gambar 2. Sistem penggerak diferensial robot bergerak

Sistem penggerak diferensial adalah salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menggerakkan robot bergerak. Sistem ini terdiri dari dua roda utama yang dipasang di sisi kanan dan kiri robot, masing-masing digerakkan oleh motor terpisah, seperti yang terlihat pada gambar 2. Tidak seperti kendaraan konvensional yang menggunakan roda kemudi untuk berbelok, sistem penggerak diferensial mengendalikan arah robot dengan memvariasikan kecepatan relatif antara kedua roda. Prinsip kerja sistem ini adalah sebagai berikut: jika kedua roda berputar pada kecepatan yang sama dan ke arah yang sama, robot akan bergerak lurus ke depan atau ke belakang. Untuk mengubah arah atau berbelok, sistem menyesuaikan kecepatan salah satu roda. Misalnya, untuk berbelok ke kanan, roda kiri berputar lebih cepat daripada roda kanan. Sebaliknya, untuk berbelok ke kiri, roda kanan berputar lebih cepat daripada roda kiri. Jika satu roda bergerak maju sementara yang lain bergerak mundur dengan kecepatan yang sama, robot akan berputar di tempat, memungkinkan putaran 360 derajat tanpa bergerak maju atau mundur. Kecepatan linier V dan kecepatan sudut ω robot dapat dinyatakan dalam kecepatan roda kiri ωL dan kecepatan roda kanan ωR . Posisi (x, y) dan orientasi θ robot pada setiap waktu t dapat diperbarui menggunakan persamaan diferensial [15].

Keunggulan utama sistem penggerak diferensial adalah kesederhanaannya. Sistem ini tidak memerlukan mekanisme kemudi yang rumit, dan pengontrol dapat dengan mudah mengelola robot dengan menyesuaikan kecepatan motor. Selain itu, sistem ini sangat serbaguna dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari robot edukasi sederhana hingga kendaraan otonom yang lebih rumit. Namun, ada beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Salah satu kelemahan utamanya adalah robot dengan sistem penggerak diferensial tidak dapat bergerak ke samping atau ke samping. Pergerakan robot terbatas pada putaran atau gerakan maju/mundur, tidak seperti sistem penggerak omnidirectional yang memungkinkan gerakan ke segala arah. Lebih jauh, untuk mencapai kontrol yang halus dan stabil, diperlukan

algoritma kontrol yang baik, seperti pengontrol PID (Proportional-Integral-Derivative), terutama ketika robot harus mengikuti jalur tertentu atau menavigasi lingkungan yang kompleks. Secara keseluruhan, sistem penggerak diferensial merupakan pilihan yang efisien dan efektif untuk berbagai jenis robot bergerak, yang memungkinkan kontrol yang tepat dengan desain yang relatif sederhana. Sistem ini terus menjadi pilihan populer dalam desain robotika karena kemudahan penggunaannya dan kemampuan manuver yang memadai di berbagai lingkungan.



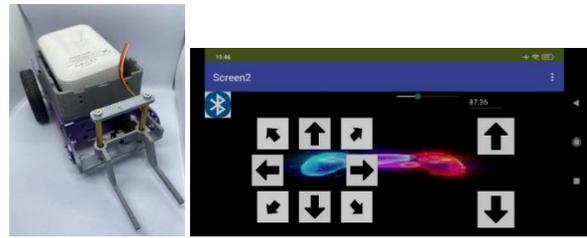
Gambar 3. Diagram alir sistem

Diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 3, menguraikan alur kontrol untuk menggerakkan robot bergerak menggunakan ESP32 melalui aplikasi bergerak dengan integrasi Firebase. Prosesnya dimulai dengan pengguna memasukkan perintah melalui aplikasi bergerak. Perintah-perintah ini kemudian dikirim ke layanan cloud Firebase, yang bertindak sebagai perantara untuk menyimpan dan mengirimkan data. Mikrokontroler ESP32 mengambil perintah dari Firebase dan memrosesnya, mengirimkan sinyal yang sesuai ke driver motor L298. Driver L298 kemudian mengendalikan motor DC untuk menjalankan perintah gerakan, yang memungkinkan robot bergerak sesuai perintah.

3. Hasil dan Pembahasan

Robot edukasi dibuat menggunakan bodi mobil robot pintar berukuran 15cm x 20cm, dengan penggerak roda girboks berwarna kuning. Diameter roda adalah 4cm. Untuk lengan pengangkat forklift, digunakan servo MG90. Catu daya robot adalah power bank 1000mAh. Gambar 4 menunjukkan foto robot bergerak edukasi berbasis IoT. Gambar 5 menunjukkan aplikasi bergerak untuk kontrol berbasis internet. Aplikasi ini dikembangkan

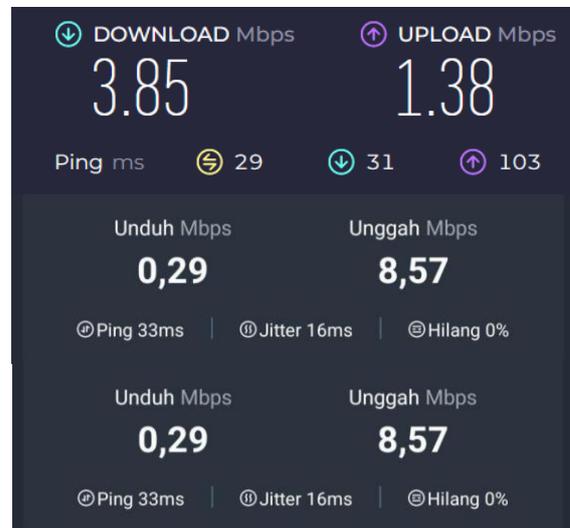
menggunakan App Inventor. Setelah proses konstruksi dan perakitan, dilakukan beberapa tahap pengujian.



Gambar 4. Mobile-robot Edukasi

3.1. Analisa Pengujian Mekanika dan Dinamika 3.1.1. Pengujian Konektivitas dan Respons ESP32

Pada tahap ini, pengujian difokuskan pada konektivitas dan respons sistem kontrol robot berbasis ESP32 melalui platform Firebase. Pengujian dimulai dengan memastikan bahwa ESP32 dapat terhubung ke Firebase secara konsisten, memeriksa stabilitas koneksi dalam berbagai kondisi jaringan. Selain itu, kecepatan respons dievaluasi dengan mengukur waktu yang dibutuhkan sejak perintah dikirim melalui aplikasi seluler hingga robot merespons. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa sistem dapat bereaksi terhadap perintah pengguna dengan cepat dan tanpa penundaan yang signifikan, yang sangat penting untuk kontrol robot secara real-time



Gambar 5. Hasil tes kecepatan untuk koneksi ESP32

Tabel 1. Hasil tes kecepatan

| TIDAK | Berkedip | Respon ESP32 | Waktu aktif (mS) |
|-----------------------|----------|--------------|------------------|
| 1 | Pada | Pada | 90 |
| 2 | Mati | Mati | 124 |
| 3 | Pada | Pada | 242 |
| 4 | Mati | Mati | 98 |
| 5 | Pada | Pada | 92 |
| Waktu Aktif Rata-rata | | | 129,2 |

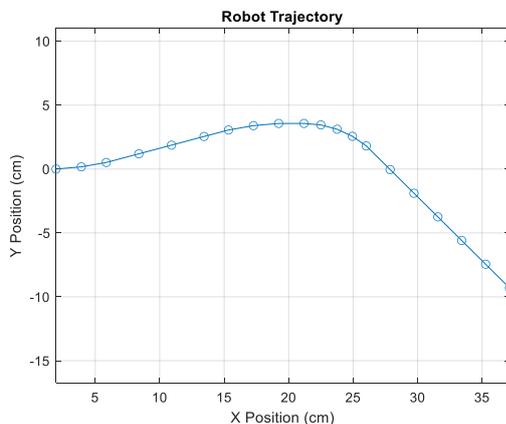
3.1.2. Pengujian Fungsionalitas Dasar Robot

Pengujian ini meliputi evaluasi kemampuan robot untuk menjalankan fungsi dasar seperti bergerak maju, mundur, berputar, dan berputar di tempat. Setiap fungsi diuji secara individual untuk memastikan bahwa robot dapat menjalankan perintah secara akurat sesuai dengan masukan yang diberikan melalui aplikasi seluler. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah untuk bergerak maju atau mundur dan mengamati apakah robot bergerak sesuai dengan instruksi. Selain itu, kemampuan robot untuk berbelok ke kiri dan kanan serta berputar di tempat diuji, dengan memperhatikan kelincahan dan ketepatan dalam menanggapi perintah tersebut. Fungsi berhenti juga diuji untuk memastikan bahwa robot dapat segera berhenti saat perintah berhenti diberikan. Tabel 2 merupakan pengujian kontrol robot secara daring

Tabel 2. Hasil tes kecepatan

| TIDAK | Titik Tetap (mL) | Hasil | Respon (m S) | Kesalahan (%) |
|-------|------------------|------------|--------------|---------------|
| 1 | Ke atas | Kesuksesan | 20 0 | angka 0 |
| 2 | Turun | Kesuksesan | 30 0 | angka 0 |
| 3 | Kiri | Kesuksesan | 20 0 | angka 0 |
| 4 | Benar | Kesuksesan | 20 0 | angka 0 |
| 5 | Angkat Lengan | Kesuksesan | 30 0 | angka 0 |
| 6 | Lengan ke Bawah | Kesuksesan | 40 0 | angka 0 |

3.2. Pengujian Keandalan Sistem



Gambar 6. Lintasan Robot

Pengujian keandalan sistem bertujuan untuk memastikan stabilitas dan konsistensi kinerja robot selama operasi yang diperpanjang. Ini termasuk pengujian beban, di mana robot dikenai serangkaian perintah berurutan atau simultan untuk menguji sistem dalam kondisi intensif. Lebih jauh, pengujian ketahanan dilakukan dengan mengoperasikan robot untuk waktu yang lama untuk mengidentifikasi potensi masalah seperti panas berlebih atau penurunan kinerja. Keamanan koneksi juga diuji untuk memastikan

bahwa data yang dikirimkan melalui Firebase dilindungi dari akses yang tidak sah. Hasil pengujian ini memberikan wawasan tentang kesiapan sistem untuk aplikasi dunia nyata, memastikan bahwa robot dapat beroperasi dengan andal dan aman dalam berbagai kondisi. Gambar 6 adalah simulasi lintasan robot berdasarkan beberapa referensi kecepatan yang disediakan.

4. Kesimpulan

Hasil riset menunjukkan konsep merancang dan menguji robot edukasi yang dilengkapi dengan sistem penggerak diferensial dan lengan seperti forklift, yang dikendalikan dari jarak jauh melalui aplikasi Android dan basis data cloud Firebase. Robot tersebut menunjukkan fungsionalitas dan keandalan yang tinggi selama pengujian, yang terbukti menjadi alat pembelajaran yang efektif bagi siswa sekolah dasar dan menengah. Integrasi teknologi IoT memungkinkan interaksi jarak jauh, memperluas lingkungan pembelajaran di luar ruang kelas fisik. Kemampuan untuk mengendalikan robot baik secara daring maupun luring memberikan fleksibilitas dalam berbagai lingkungan pendidikan, sehingga cocok untuk skenario pembelajaran jarak jauh, seperti selama pandemi. Penggunaan Firebase untuk kontrol waktu nyata memastikan komunikasi yang lancar antara robot dan aplikasi kontrol, sehingga siswa memperoleh pemahaman praktis tentang sistem kontrol berbasis awan. Selain itu, penerapan arena pembelajaran berbasis grid mendorong pemikiran strategis dan pemecahan masalah, yang selanjutnya meningkatkan pengalaman pendidikan. Sistem penggerak diferensial, yang dipadukan dengan aplikasi seluler yang intuitif, memberikan pendekatan yang mudah diakses dan interaktif terhadap pendidikan robotika, yang secara efektif membangun keterampilan pada siswa. Hasil studi menyoroti potensi robot sebagai alat yang berharga dalam pendidikan modern, yang mendorong pembelajaran langsung dalam robotika dan teknologi. Ke depannya, pengembangan lebih lanjut dapat mencakup perluasan kemampuan robot untuk mengakomodasi tugas yang lebih kompleks, meningkatkan antarmuka penggunaannya, dan mengeksplorasi metode kontrol tambahan untuk meningkatkan pengalaman belajar.

Referensi

- [1]. B. Jang, M. Kim, G. Harerimana and J. W. Kim, "Q-Learning Algorithms: A Comprehensive Classification and Applications," in IEEE Access, vol. 7, pp. 133653-133667, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941229.
- [2]. Aydin Sipahioglu, Ahmet Yazicib, Osman Parlaktunab, Ugur Gure "Real-time tour construction for a Mobile Robot in a Dynamic Environment", Osmangazi University pp 289-295, springer, Robotics and Autonomous System, Elsevier 2008.
- [3]. R. Clark, A. El-Osery, K. Wedward, and S. Bruder, "A Navigation and Obstacle Avoidance Algorithm for Mobile Robots Operating in Unknown, Maze-Type Environments", Proc. International Test and

- [4]. Evaluation Association Workshop on Modeling and Simulation, Las Cruces, NM, December Intelligent Systems and Robotics Group 2004.
- [5]. Vincenzo Liberatore¹, Wyatt S. Newman¹, and Kul Bhasin² "IP communication and distributed agents for Unmanned autonomous vehicles", Electrical Engineering and Computer Science Department, Case Western Reserve University, Cleveland, 2004.
- [6]. B. Widrow, N. Gupta and S. Maitra, Punish/Reward: "Learning with a critic in adaptive threshold systems", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-5, pp. 455-465, 1973.
- [7]. Sebastian Thrun, "Learning Maps for Indoor Mobile Robot Navigation" pp. 1-38 Robotics and Autonomous Systems Carnegie Mellon University 1996.
- [8]. Sebastian Thrun, "A Lifelong Learning Perspective for Mobile Robot Control", Intelligent Robots and Systems, 1994.
- [9]. Tom M. Mitchell, Sebastian B. Thrun "Learning Analytically and Inductively", Carnegie Mellon University, Pittsburgh, U.S.A. University of Bonn, Germany 1998.
- [10]. Justin A. Boyan and Andrew W. Moore, "Generalization in Reinforcement Learning: Safely Approximating the Value Function Advances in Neural Information Processing Systems" pp. 1-8 MIT Press, Cambridge MA, 1995.
- [11]. Sven Koenig, Reid G. Simmons "The Effect of Representation and Knowledge on Goal-Directed Exploration with Reinforcement-Learning Algorithms", School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh 1991.
- [12]. David Goddeau and Joelle Pineau, "Fast Reinforcement Learning Of Dialog Strategies", Compaq Computer Corporation, Cambridge Research Laboratory, Cambridge, United States, 2000.
- [13]. Chunlin chen, han-xiong li and Daoyi Dong, "Hybrid control for Robot Navigation A Hierarchical Q Learning Algorithm", IEEE Robotics and Automation, June 2008.
- [14]. Leslie Pack Kaelbling, Michael L. Littman, Brown University, USA, Andrew W. Moore Smith, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, "Reinforcement Learning: A Survey", Journal of Artificial Intelligence Research 4 pp. 237-285 1996.
- [15].